UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

CARACTERIZACIÓN DEL ESCUDO DE GUAYANA A PARTIR DE DATOS DE GRAVEDAD

Trabajo presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de
Magister Scientiarum
en Ciencias Geológicas

Autor: Ing. Fabian J. Linares M.

Tutores: Dra. Nuris Orihuela

Dr. Franco Urbani

Caracas, abril de 2021

VEREDICTO DE APROBACIÓN

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

VEREDICTO

Comisión de Estudios de Postgrado

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el **Trabajo de Grado** presentado por el **ING. FABIAN JESUS LINARES MORÓN,** titular de la Cédula de Identidad No **V-20.133.967**, bajo el título **"CARACTERIZACION DEL ESCUDO DE GUAYANA A PARTIR DE DATOS DE GRAVEDAD",** a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de Magister en Ciencias Geológicas; dejan constancia de lo siguiente:

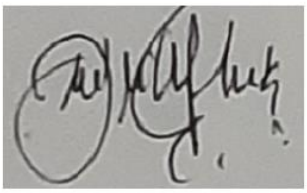
1.- Leído dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día10 de junio del 2021, a las 10:00 a.m., para que el autor lo defendiera en forma pública, lo que éste hizo en la sala de reuniones del Vicerrectorado Académico, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado. La participación del cotutor, Dr. Franco Urbani y del jurado Dr. Redescal Uzcátegui se realizó vía telemática.

2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió aprobarlo, por considerar, sin hacerse solidario con las ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

Para este veredicto, los profesores miembros del jurado, estimaron que la obra examinada representa en su conjunto un aporte importante en la caracterización del subsuelo del Escudo de Guayana. Esta investigación presenta una interpretación gravimétrica y el jurado por unanimidad le asigna la calificación de "APROBADO".

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los diez (10) días del mes de junio del año 2021, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinador del Jurado la Dra. Nuris Orihuela.

Dr. Redescal Uzcátegui G.
C.I. 9.120.407
(JURADO)
(USB)



Dr. Inírida Rodríguez Millán
C.I. 3.949.465
(JURADO)
(UCV)

Dr. Nuris Orihuela Guevara
C.I. 4.289.428
(TUTORA)
FI-UCV

DEDICATORIA

A la memoria de Fabian E. Linares, mi padre, mi ejemplo de superación y éxito.

AGRADECIMIENTOS

En este apartado me gustaría agradecer a mi familia, en especial a mi esposa, mama, hija, hermanas y abuelos por su apoyo continuo durante el desarrollo de esta maestría. A Dios y a mi papa, donde sea que él este allá arriba.

En especial, a la profesora Nuris Orihuela y al profesor Franco Urbani, por su apoyo incondicional e inmediato durante la elaboración y revisión de esta investigación.

Al personal de la universidad, tanto profesoral como administrativo y de servicios, amigos y compañeros de estudio, que hicieron de mi tránsito por estos recintos, una vez más, una gratificante y enriquecedora experiencia.

Linares M., Fabian J.

CARACTERIZACIÓN DEL ESCUDO DE GUAYANA A PARTIR DE DATOS DE GRAVEDAD.

Tutores Académicos: Profesores Nuris Orihuela y Franco Urbani. Tesis de Maestría. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2020, 424 p.

Palabras clave: datos satelitales, gravimetría, magnetismo, Escudo de Guayana, Cratón Amazónico, interpretación geofísica integrada.

RESUMEN

Se llevó a cabo el análisis avanzado de datos de gravedad y magnetismo provenientes de modelos combinados disponibles para la región que comprende al conjunto de provincias que integran el Escudo de Guayana en 3 etapas principales: procesamiento de datos, interpretación integrada de los resultados y modelado geológico/estructural. La zona en estudio consiste en un área continental o subcontinental de rocas cristalinas precámbricas. Este Escudo forma parte del Cratón Amazónico, y está compuesto principalmente por granitos y gneises que representan a continentes primitivos, y cinturones de rocas verdes que representan a océanos primitivos. Los datos geofísicos utilizados provienen de los modelos de escala mundial EIGEN-6c4 y EMAG-2, los cuales fueron procesados a anomalías de Bouguer y anomalías magnéticas y validados para Venezuela en estudios preexistentes.

La provincia de Imataca (granulitas, gneises graníticos y anfibolitas de 3,7 a 2,6 Ga) evidencia la tectónica de placas que modeló los antiguos continentes a partir de la amalgama de micro-continentes bajo regímenes de altos gradientes termales corticales y mantelares que facilitaron procesos intrusivos de gran escala a partir del rápido reciclaje de corteza y exhumación magmática durante el Arqueano (3,8 – 2,5 Ga). Una litosfera más delgada y boyante, con sistemas de subducción de menor pendiente, son características de esta etapa. Los cinturones de rocas verdes, que componen a la provincia de Pastora (ultramáficas, basálticas, andesíticas y turbiditas; granitos sódicos TTG de 2,3 a 2,0 Ga), abarcan la mayoría de composición cortical intermedia por debajo de los sistemas

intrusivos y volcánicos como Supamo, Cuchivero y Caicara (ígneas félsicas graníticas y riolíticas de 1,95 a 1,75 Ga), y del supergrupo meta-sedimentario de Roraima (sedimentos melasoides (1,8 a 1,4 Ga). Estos cinturones constituían la corteza oceánica que separaba a Imataca de los cinturones de alto grado que se formaban en el sur (relativo a la posición actual). Las intrusiones a gran escala, como los granitos de Supamo y de Cuchivero, ocurrieron posterior a la inversión del sistema tectónico extensivo hacia uno con subducción, cuando los cinturones más antiguos se acercaban. Por la rápida tectónica de placas, estos márgenes migraban cambiando la ubicación de los sistemas de ascenso magmático y de los puntos calientes, en un entorno de subducción migrante hacia el oeste. Hacia el Estado Amazonas, el modelo evolutivo indica que la intrusión de grandes cuerpos ocurre mediante la inversión de la vergencia de subducción, permitiendo intrusiones a ambos flancos del sistema, donde losas abortadas continuaban fundiéndose, permitiendo, por ejemplo, la formación de la asociación Avanavero. Rocas como el granito de Parguaza y otras equivalentes en tiempo, constituyen la losa abortada posterior a la inversión y orogénesis. No obstante, la colisión y el cabalgamiento ya había iniciado hacia el oeste, en un régimen tectónico de colisión oblicua debido a fallas transcurrentes que atraviesan los sistemas y a la rotación que sufre el conjunto Imataca-Pastora-Cuchivero previa a la colisión con los cinturones de alto grado como Kanukú y Uraricoera. El conjunto cortical Pastora-Cuchivero estaba a su vez integrado por sistemas de arco y rift que dominaban la tectónica local hacia el este del margen. Otros cinturones como Mitú-San Carlos e intrusivos como Río Negro u otros sin diferenciar, constituyen la etapa de intrusiones a gran escala posterior a la inversión de la losa de subducción hacia el oste del margen.

TABLA DE CONTENIDO

VEREDICTO DE APROBACIÓN ii
DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTOS v
RESUMEN vi
TABLA DE CONTENIDO 8
LISTA DE FIGURAS 11
LISTA DE ABREVIACIONES 32

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS 34
I.1.1. General *34*
I.1.2. Específicos *34*
CONTEXTO GEOLÓGICO 34
CONTEXTO GEOFÍSICO 35
METODOLOGÍA 36
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN 37
APORTE AL CONOCIMIENTO 38

CAPÍTULO II

LOS DATOS

DATOS DE ANOMALÍA DE BOUGUER 40
DATOS DE ANOMALÍA MAGNÉTICA 52

CAPÍTULO III

IMATACA

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL 64
SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT 72
DERIVADAS DIRECCIONALES 76

DECONVOLUCIÓN DE EULER 80

CAPÍTULO IV

PASTORA

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL 101
SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT 106
DERIVADAS DIRECCIONALES 115
DECONVOLUCIÓN DE EULER 119

CAPÍTULO V

CUCHIVERO

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL 132
SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT 135
DERIVADAS DIRECCIONALES 140
DECONVOLUCIÓN DE EULER 142

CAPÍTULO VI

AMAZONAS

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL 159
SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT 166
DERIVADAS DIRECCIONALES 173
DECONVOLUCIÓN DE EULER 178

CAPÍTULO VII

RORAIMA

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL 192
SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT 196
DERIVADAS DIRECCIONALES 201
DECONVOLUCIÓN DE EULER 204

CAPÍTULO VIII

MODELADO

MODELO 1 210
MODELO 2 215
MODELO 3 217

IMAGÉNES COMPILADAS POR PROVINCIA 220

IMATACA 220
PASTORA 222
CUCHIVERO 224
AMAZONAS 225
RORAIMA 228

CONCLUSIONES 230

RECOMENDACIONES 233

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 234

ANEXOS 241

SOLUCIONES DE PERFIL - PROVINCIA IMATACA 241
SOLUCIONES DE PERFIL - PROVINCIA PASTORA 268
SOLUCIONES DE PERFIL - PROVINCIA CUCHIVERO 305
SOLUCIONES DE PERFIL - AMAZONAS 347
SOLUCIONES DE PERFIL - PROVINCIA RORAIMA 389
MODELO EVOLUTIVO 420

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la investigación. 36
Figura 2. Mapa de ubicación del estudio. 38
Figura 3. Mapa de gravedad observada del modelo EIGEN-6c4. Líneas negras representan límites político-territoriales y principales fallas (modificado de Audemard *et al*. 2000 y de Tapias *et al*. 2006). 41
Figura 4. Histograma de frecuencia de la gravedad observada del modelo EGM2008 (barras azules) y del modelo EIGEN-6c4 (barras rojas). Tomado de Linares *et al*. (2015). 43
Figura 5. Gráfico de dispersión de los datos. Eje X: EGM2008; eje Y: EIGEN-6c4. Tomado de Linares *et al*. (2015). 43
Figura 6. Gráfico comparativo sobre un perfil con orientación aproximada N45°O. Línea en rojo: gravedad observada del modelo EIGEN-6c4, línea azul: gravedad observada del modelo EGM2008. El coeficiente de correlación entre ambas curvas es de 0,80051. 44
Figura 7. Comparación de las gravedades observadas sobre un perfil (perfil CD en la Figura 11). Línea verde: datos terrestres, línea roja: datos EGM2008, línea azul: datos EIGEN-6c4. 45
Figura 8. Comparación sobre un perfil del modelo de elevación de terreno SRTM30 corregido al elipsoide GRS80 respecto a los valores de elevación medidos durante las campañas terrestres en metros. Línea roja: valores de elevación del SRTM30, línea azul: alturas medidas en campañas terrestres. Coeficiente de correlación 0,997045. 45
Figura 9. Perfil de comparación entre los valores de gravedad observada en tierra y la gravedad observada de los modelos combinados (perfil EF en la Figura 11). Línea azul: gravedad observada con adquisición terrestre, línea roja: medidas del EIGEN-6c4, línea verde: medidas del EGM2008. El coeficiente de correlación entre los datos terrestres y los del modelo EGM2008 es de 0,844335, y entre los terrestres y los del modelo EIGEN-6c4 es de 0,996354. 46
Figura 10. Comparación sobre el perfil Bolívar entre las alturas medidas en tierra (línea azul, las alturas del SRTM30 corregido al elipsoide (línea roja) y las alturas utilizadas por el modelo EGM2008 (línea verde). Coeficiente de correlación entre los datos terrestres y EGM2008 de 0,90586859 y entre los datos terrestres y el SRTM30 de 0,99952838. 46

Figura 11. Mapa de ubicación de los perfiles evaluados en el trabajo de Linares *et al*. (2015) sobre el modelo de elevación digital de terreno SRTM30 publicado por Sandwell *et al*. (2014). 47
Figura 12. Representación de la desviación de la tendencia de los datos en el perfil Bolívar (ambos ejes en unidades de mGal). Los puntos verdes y la línea verde indica los datos terrestres respecto a ellos mismos (tendencia ideal o de referencia [$y = x$]), los puntos azules y la línea azul representan datos del EIGEN-6c4 respecto a los datos terrestres [$y = 0{,}9989x + 1074{,}3$], los puntos rojos y la línea roja representan datos del EGM2008 representados respecto a los datos terrestres [$y = 0{,}8102x + 1856361$]..... 48
Figura 13. Mapa de anomalías de Bouguer de Venezuela calculado a partir del modelo combinado EIGEN-6c4 (Linares et al. 2015). Líneas negras: límites político-territoriales y principales sistemas de fallas (modificado de Audemard et al. 2000 y de Tapias et al. 2006). 51
Figura 14. Mapa de anomalías de Bouguer para la zona en estudio, derivado del modelo EIGEN-6c4. Tomado de Linares *et al*. (2015). Líneas de contorno en gris cada 25 mGal. Líneas blancas: límites político-territoriales..... 52
Figura 15. Mapa de anomalías magnéticas del modelo combinado EMAG2 (Maus *et al*., 2009). Líneas de contorno en color gris cada 100 nT. Líneas color blanco: límites político-territoriales. Zonas en blanco indican vacío de datos. 53
Figura 16. (A) Espectro radial de potencia de Anomalías de Bouguer. (B) Espectro radial de potencia de anomalías magnéticas reducidas al ecuador. En ambos espectros, cada color representa un contraste promedio de densidad (para gravedad) y susceptibilidad magnética (para magnetismo) en profundidad, mediante la relación que existe entre la longitud de onda de la anomalía y la profundidad de su fuente. 57
Figura 17. Secciones de datos sísmicos y modelo de trazado de rayos del perfil en Venezuela oriental a lo largo del meridiano 65ºW. Tiempos de viaje observados y calculados en la parte superior, trazado de rayos en el centro y modelo de velocidad en la parte inferior. PCRV: estación sismológica de Puerto La Cruz, SM: punto de tiro San Mateo, C: punto de tiro Cantaura. Rayos desde los puntos de tiro ET: El Tigre, L: Limo y CP: Ciudad Piar corresponden a los datos mostrados en Schmitz *et al.*, (2002 y 2005). El modelo de velocidad resultante indica el incremento de espesor cortical hacia el sur con 50

km aproximadamente, decreciendo a 40 km por debajo de PCRV y un adelgazamiento ligero hacia el Mar Caribe en el norte (Tomado y modificado de Schmitz *et al.*, 2008). 58
Figura 18. Mapa geológico de Imataca. Polígono negro: área para caracterización de la provincia Imataca. Tomado y modificado de Hackley *et al.*, (2005). 60
Figura 19. Mapa de anomalías de Bouguer de Imataca, modelo EIGEN-6c4..... 61
Figura 20. Mapa de anomalía magnética, modelo EMAG2. 63
Figura 21. Mapa de anomalía magnética reducida al ecuador, modelo EMAG2. 63
Figura 22. Mapa de anomalía de Bouguer regional (F: falla). Lineas de guión-punto: fallas principales; líneas de guiones: interpretación de zonas de compresión; linea de puntos: posible extensión a nivel cortical de las estructuras de Imataca hacia Pastora. 66
Figura 23. Evolución geodinámica de Imataca (Mendoza, 2005). 1era Etapa: compresión entre placas oceánicas con cambio de subducción a la izquierda y, 2da Etapa: sucesiva sobre-posición o aglutinación de los arcos o micro-continentes formando parte del supercontinente Guayanensis o Valvaara o Kenorano. 67
Figura 24. Mapa de anomalía de Bouguer residual. 68
Figura 25. Mapa geológico esquemático del Complejo Imataca al oeste del río Caroní, Dougan (1974). 69
Figura 26. Complejo de Imataca en los alrededores de Cerro Bolívar. Simplificado por Mendoza *et al.* (2019) desde Ascanio (1975). 71
Figura 27. Edades Sm-Nd del protolito en el Complejo Imataca, Teixeira *et al.* (2000). 71
Figura 28. Mapa de señal analítica de datos de gravedad. 73
Figura 29. Mapa de derivada Tilt de gravedad. Línea negra engloba los ángulos que corresponden a la Provincia de Imataca. Se observa que se presentan dos dominios de tendencia de soluciones de ángulo de inclinación, separados por la zona de pivote. La zona del Este presenta tendencia de lineamientos, mientras que la zona del Oeste los resultados son relativamente aleatorios, aunque se pueden identificar algunos patrones. 74
Figura 30. Mapa de señal analítica de magnetismo. 75
Figura 31. Mapa de derivada Tilt de datos magnéticos reducidos al ecuador. 76
Figura 32. Mapa de derivada horizontal de gravedad. 77
Figura 33. Mapa de derivada vertical de gravedad. 78

Figura 34. Mapa de derivada horizontal de magnetismo reducido al ecuador. Líneas de guiones: posible ubicación de fallas en profundidad. Líneas punteadas: lineamientos estructurales que concuerdan con el sistema de fajas tectónicas. 79
Figura 35. Mapa de derivada vertical de magnetismo reducido al ecuador. 80
Figura 36. Distribución de índices estructurales para deconvolución de Euler en datos de gravedad. Mapa geológico de fondo. 82
Figura 37. Soluciones de Euler en datos de gravedad con SI = 0. 83
Figura 38. Soluciones de Euler en datos de gravedad con SI = 1. 84
Figura 39. Soluciones de Euler en datos de gravedad con SI = 2. 86
Figura 40. Secciones mostrando: a) Estructura dómica de los granitos sódicos del Complejo Supamo y los sinformes de CRV de Pastora y Botanamo; b) cierre del océano y colisión de los CRV de Pastora y Botanamo contra el continente Imataca. La zona de colisión está representada por la falla o sutura de Guri al NE y de Takutu al SW (Mendoza, 2005) 90
Figura 41. Espectros radiales de potencia de la provincia Pastora: a) espectro de potencia de datos de gravedad; b) espectro de potencia de datos magnéticos. 92
Figura 42. Mapa geológico de la provincia Pastora (Hackley *et al*. 2005). 93
Figura 43. Mapa geológico de Guyana (Cole & Heesterman, 2001). 94
Figura 44. Mapa geológico simplificado del Escudo de Guayana. Compilado de varias fuentes por Kroonenberg *et al.* (2016). 95
Figura 45. Mapa de anomalías de Bouguer del modelo combinado EIGEN-6c4 en la provincia Pastora. 97
Figura 46. Mapa de anomalías magnéticas del modelo EMAG2 en la provincia Pastora. .. 99
Figura 47. Mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador del modelo EMAG2 en la provincia Pastora. 100
Figura 48. Mapa de anomalías regionales de Bouguer. 102
Figura 49. Mapa de correlación de la mitad oriental del Escudo de Guayana con el cratón Africano Occidental. Modificado por Kroonenberg *et al.* (2016) luego de Cordani & Teixeira (2007), adaptado de Nomade *et al.* (2003). 103
Figura 50. Mapa de anomalías residuales de Bouguer. 105
Figura 51. Mapa de señal analítica de gravedad en provincia Pastora. 107
Figura 52. Mapa de derivada Tilt de gravedad en provincia Pastora. 113

Figura 53. Mapa de señal analítica de magnetismo en Pastora. Líneas de guiones negros: principales sistemas estructurales inferidos. 114
Figura 54. Mapa de derivada Tilt de magnetismo en Pastora. 115
Figura 55. Mapa de derivada horizontal de magnetismo en Pastora. 116
Figura 56. Mapa de derivada vertical de magnetismo en Pastora. 117
Figura 57. Mapa de derivada vertical de gravedad en Pastora. 118
Figura 58. Mapa de derivada horizontal de gravedad en Pastora. 119
Figura 59. Mapa de distribución de índices estructurales para deconvolución de Euler en datos de gravedad de Pastora. 120
Figura 60. Mapa de soluciones de deconvolución de Euler, SI = 0. 121
Figura 61. Mapa de soluciones de deconvolución de Euler, SI = 1. 122
Figura 62. Mapa de soluciones de deconvolución de Euler, SI = 2. 123
Figura 63. Espectro radial de potencia de la provincia Cuchivero de datos de gravedad. . 126
Figura 64. Mapa geológico de la provincia de Cuchivero (Hackley *et al*. 2005). 127
Figura 65. Mapa de anomalías de Bouguer de Cuchivero a partir del modelo combinado EIGEN-6c4. 128
Figura 66. Mapa de anomalías magnéticas de Cuchivero a partir del modelo EMAG2. ... 129
Figura 67. Mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador del modelo EMAG2. 131
Figura 68. Mapa de anomalías de Bouguer regionales en Cuchivero. 133
Figura 69. Mapa de anomalías de Bouguer residuales en Cuchivero. 135
Figura 70. Mapa de señal analítica de gravedad en Cuchivero. 136
Figura 71. Mapa de derivada Tilt de gravedad en Cuchivero. 138
Figura 72. Mapa de señal analítica en datos magnéticos en Cuchivero. 139
Figura 73. Mapa de derivada Tilt de datos magnéticos en Cuchivero. 140
Figura 74. Mapa de derivada vertical de gravedad en Cuchivero. 141
Figura 75. Mapa de derivada horizontal de gravedad en Cuchivero. 142
Figura 76. Mapa de distribución de índices estructurales para la deconvolución de Euler en Cuchivero para datos de gravedad. 143
Figura 77. Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Cuchivero, SI=0. 144
Figura 78. Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Cuchivero, SI=1. 145
Figura 79. Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Cuchivero, SI=2. 146

Figura 80. Mapa geológico de la provincia del Edo. Amazonas (Hackley *et al*. 2005)..... 150
Figura 81. Espectros radiales de potencia de Amazonas. a) Datos de gravedad; b) Datos de magnetismo..... 151
Figura 82. Mapa de Anomalías de Bouguer del Estado Amazonas, modelo EIGEN-6c4. 156
Figura 83. Mapa de anomalías magnéticas del Estado Amazonas, modelo EMAG2. 157
Figura 84. Mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador del Estado Amazonas, modelo EMAG2. Zona en polígono azul = dominio cortical Cuchivero; zona de polígono rosado = dominio cortical de cinturón de rocas de alto grado; zona en polígono verde = dominio cortical Río Negro. 159
Figura 85. Mapa de anomalías regionales de Bouguer, modelo EIGEN-6c4..... 162
Figura 86. Mapa de anomalías residuales de Bouguer, modelo EIGEN-6c4. 165
Figura 87. Mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer. 168
Figura 88. Mapa geológico esquemático del Estado Amazonas. Tomado de Mendoza et al. (1977). 169
Figura 89. Mapa de derivada de inclinación (tilt) a partir de anomalías de Bouguer. 170
Figura 90. Mapa de señal analítica de datos magnéticos..... 172
Figura 91. Mapa de derivada de inclinación (Tilt) de magnetismo. 173
Figura 92. Mapa de derivada vertical de gravedad. 177
Figura 93. Mapa de derivada horizontal de gravedad. 178
Figura 94. Mapa de distribución de índices estructurales para la deconvolución de Euler en Amazonas para datos de gravedad..... 179
Figura 95.Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Amazonas, SI=1..... 180
Figura 96. Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Amazonas, SI=2..... 182
Figura 97. Espectros radiales de potencia de Roraima. a) Datos de gravedad; b) Datos de magnetismo..... 187
Figura 98. Mosaico de mapas geológicos de la provincia de Roraima. En polígono color negro: delimitación de la provincia en estudio para este capítulo. 188
Figura 99. Mapa de anomalías de Bouguer de Roraima. Líneas de contorno cada 25 mGal. 190
Figura 100. Mapa de anomalías magnéticas de Roraima. Líneas de contorno cada 50 nT. 191

Figura 101. Mapa de anomalías magnéticas de Roraima reducidas al ecuador. Líneas de contorno cada 50 nT. 192
Figura 102. Mapa de anomalías de Bouguer regionales de Roraima. 193
Figura 103. Mapa de anomalías de Bouguer residuales de Roraima. 196
Figura 104. Mapa de señal analítica calculado a partir de datos de anomalías de Bouguer en Roraima. 198
Figura 105. Mapa de derivada de la inclinación (*tilt*) de los datos de anomalías de Bouguer en Roraima. 199
Figura 106. Mapa de señal analítica calculado a partir de datos de anomalía magnética en Roraima. Líneas de contorno cada 0.001 nT/m. 200
Figura 107. Mapa de derivada de la inclinación a partir de datos de anomalías magnéticas en Roraima. Contornos en valores exactos de 0 radianes. 201
Figura 108. Mapa de primera derivada vertical de datos de anomalía de Bouguer en Roraima. 202
Figura 109. Mapa de derivada horizontal a partir de datos de gravedad en Roraima. 203
Figura 110. Mapa de segunda derivada vertical a partir de datos de gravedad en Roraima. 204
Figura 111. Soluciones de índice estructural (SI) de deconvolución de Euler a partir de datos de gravedad en Roraima; mapas geológicos de fondo. 205
Figura 112. Mapa de soluciones de profundidad de Euler de índice estructural 1 en Roraima. 206
Figura 113. Mapa de soluciones de profundidad de Euler de índice estructural 2 en Roraima. 207
Figura 114. Ubicación de los perfiles modelados sobre un mapa geológico simplificado. (Tomado y modificado de Kroonenberg *et al*., 2016). 210
Figura 115. Perfil geológico N°1 construido a partir del modelado de datos de anomalías de Bouguer. 212
Figura 116. Perfil geológico N°2 construido a partir del modelado de datos de anomalías de Bouguer. 216
Figura 117. Perfil geológico N°3 construido a partir del modelado de datos de anomalías de Bouguer. 219

Figura 118. Compilado n°1 para Imataca. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: resultados de los espectros de potencia, transecto de línea sísmica, mapa geológico, malla de anomalías regionales de Bouguer, malla de anomalías residuales de Bouguer, y mapa de señal analítica calculado a partir de las anomalías de Bouguer. 220
Figura 119. Compilado n°2 para Imataca. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa de derivada tilt de gravedad, mapa de señal analítica calculada a partir de anomalías magnéticas, malla de la derivada vertical de la reducción al ecuador magnético de las anomalías magnéticas, mapa de derivada horizontal de anomalías magnéticas reducidas al ecuador, y modelo geológico/gravimétrico N°2 (B-B'). 221
Figura 120. Compilado n°1 para Pastora. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: resultados de los espectros radiales de potencia, mapa geológico de Guyana, mapa geológico de Venezuela – sección Pastora, mapa de anomalías regionales de Bouguer, mapa de anomalías residuales de Bouguer, y mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador magnético. 222
Figura 121. Compilado n°2 para Pastora. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer, mapa de derivada tilt de anomalías de Bouguer, mapa de derivada vertical de anomalía de Bouguer, mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías magnéticas, mapa de derivada horizontal de anomalías magnéticas, y modelo geológico/gravimétrico N°3 (C-C'). 223
Figura 122. Compilado n°1 para Cuchivero. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: resultados del espectro radial de potencia, mapa geológico, malla de anomalías regionales de Bouguer, mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador magnético, mapa de anomalías residuales de Bouguer, y mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer. 224
Figura 123. Compilado n°2 para Cuchivero. De izquierda a derecha: mapa de derivada vertical de anomalías de Bouguer, y mapa de derivada tilt de anomalías de Bouguer. 225
Figura 124. Compilado n°1 para Amazonas. De izquierda a derecha: resultados de los espectros radiales de potencia y división del Estado Amazonas en provincias petrotectónicas. 225
Figura 125. Compilado n°2 para Amazonas. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa geológico, mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador, mapa de señal

analítica calculada a partir de anomalías magnéticas, y mapa de anomalías regionales de Bouguer. 226
Figura 126. Compilado n°3 para Amazonas. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa de anomalías residuales de Bouguer, mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer, malla de derivada tilt de anomalías de Bouguer, mapa de derivada vertical de anomalías de Bouguer, y modelo geológico/gravimétrico N°1 (A-A'). 228
Figura 127. Compilado n°1 para Roraima. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: resultados de los espectros radiales de potencia, mapa geológico integrado de Venezuela y Guyana, mapa de anomalías residuales de Bouguer, mapa de anomalías regionales de Bouguer, mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador, y mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer. 228
Figura 128. Compilado n°2 para Roraima. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa de derivada tilt de anomalías de Bouguer, mapa de derivada vertical de anomalías de Bouguer, mapa de derivada horizontal de anomalías de Bouguer, y mapa de segunda derivada vertical de anomalías de Bouguer. 229
Figura 129. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la provincia de Imataca, sobre el mapa geológico de Hackley *et al*. (2005). 242
Figura 130. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en perfil IP1. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas moradas: altos contrastes composicionales (quizás intrusión). Línea punteada verde: interfase de cambio composicional en profundidad..... 243
Figura 131. Soluciones de señal analítica en IP2. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas moradas: altos contrastes composicionales (quizás intrusión)..... 244
Figura 132. Soluciones de señal analítica en IP3. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Línea punteada verde: interfase de cambio composicional en profundidad. Línea punteada naranja: alto contraste composicional (quizás intrusión). ... 245
Figura 133. Soluciones de señal analítica en IP18. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas moradas: altos contrastes composicionales (quizás intrusión). Línea punteada verde: interfase de cambio composicional en profundidad. 247

Figura 134. Soluciones de señal analítica en IP4. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Línea punteada verde: interfase inferida de cambio composicional. Línea de guiones morada: posible disposición de diabasa. 248
Figura 135. Soluciones de señal analítica en IP5. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno..... 249
Figura 136. Soluciones de señal analítica en IP6. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos..... 250
Figura 137. Soluciones de señal analítica en IP7. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos..... 252
Figura 138. Soluciones de señal analítica en IP8. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos. Línea en guiones naranja: cambio de composición asociado a metamorfismo por posible intrusión. 254
Figura 139. Soluciones de señal analítica en IP9. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos..... 255
Figura 140. Soluciones de señal analítica en IP10. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos. Líneas en guiones verdes: contactos sub-horizontales importantes..... 258
Figura 141. Soluciones de señal analítica en IP11. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos..... 259
Figura 142. Soluciones de señal analítica en IP12. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos..... 260
Figura 143. Soluciones de señal analítica en IP13. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos..... 262

Figura 144. Soluciones de señal analítica en IP14. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos. 264
Figura 145. Soluciones de señal analítica en IP15. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos. 265
Figura 146. Soluciones de señal analítica en IP16. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos. 266
Figura 147. Soluciones de señal analítica en IP17. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos. 268
Figura 148. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la provincia de Pastora, sobre el mapa geológico de Hackley *et al.* (2005) para Venezuela y de Cole & Heesterman (2001) para Guyana. 269
Figura 149. Soluciones de señal analítica de gravedad en PP1, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales inferidos, líneas de guiones morados: cambios de composición. 270
Figura 150. Soluciones de señal analítica y Werner en datos de gravedad en PP2, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 271
Figura 151. Soluciones de señal analítica y Werner en datos de gravedad en PP3, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 273
Figura 152. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP4, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 275
Figura 153. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP26, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 276

Figura 154. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP5, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 278
Figura 155. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP6, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 279
Figura 156. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP7, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 281
Figura 157. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP23, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 283
Figura 158. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP8, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 284
Figura 159. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP9, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 286
Figura 160. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP10, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 287
Figura 161. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP11, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 289
Figura 162. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP12, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 290
Figura 163. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP13, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 291

Figura 164. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP14, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 292
Figura 165. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP15, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 293
Figura 166. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP16, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 295
Figura 167. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP17, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 296
Figura 168. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP24, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 298
Figura 169. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP18, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 299
Figura 170. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP19, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 300
Figura 171. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP20, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 301
Figura 172. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP21, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 303
Figura 173. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP22, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 304

Figura 174. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP25, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición. 305
Figura 175. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la provincia de Cuchivero, sobre el mapa geológico de Hackley *et al.* (2005). 306
Figura 176. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP1 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 307
Figura 177. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP2 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición. 308
Figura 178. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP3 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición. 309
Figura 179. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP4 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición. 311
Figura 180. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP5 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición. 312
Figura 181. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP6 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición. 313
Figura 182. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP7 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición. 314
Figura 183. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP8 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV; guiones naranja = base de volcánicas. 316

Figura 184. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP9 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = base de volcánica 318
Figura 185. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP10 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV. 319
Figura 186. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP11 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV. 320
Figura 187. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP12 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV. 321
Figura 188. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP13 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV. 322
Figura 189. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP14 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición. 323
Figura 190. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP15 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = base de rocas volcánicas. 325
Figura 191. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP16 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV. 326
Figura 192. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP17 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV; guiones naranja = base de Caicara. 327
Figura 193. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP18 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado =

cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV; guiones naranja = base de Caicara. 329
Figura 194. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP19 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV. 330
Figura 195. Mapa geológico de Kroonenberg *et al.* (2016) con sistemas estructurales interpretados a partir del análisis del mapa de derivada vertical de datos de gravedad. 331
Figura 196. Soluciones de señal analítica en CP20 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas. 333
Figura 197.Soluciones de señal analítica en CP23 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = prolongación del alto estructural. 335
Figura 198.Soluciones de señal analítica en CP22 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = prolongación del alto estructural. 336
Figura 199. Soluciones de señal analítica en CP21 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural. 337
Figura 200. Soluciones de señal analítica en CP24 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural. 338
Figura 201. Soluciones de señal analítica en CP25 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural. 340
Figura 202. Soluciones de señal analítica en CP26 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural; guiones fucsia = base de granitos de Cuchivero. 342

Figura 203. Soluciones de señal analítica en CP27 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural. 343
Figura 204. Soluciones de señal analítica en CP28 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones verdes = tope inferido de CRV..... 344
Figura 205. Soluciones de señal analítica en CP29 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones verdes = límite de Parguaza; guiones azul claro = sistema de emplazamiento. 346
Figura 206. Soluciones de señal analítica en CP30 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones verdes = límite de Parguaza. 347
Figura 207. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la región que comprende al Edo. Amazonas, sobre el mapa geológico de Hackley *et al*. (2005). 348
Figura 208. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP1 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 350
Figura 209. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP2 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 352
Figura 210. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP4 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales 353
Figura 211. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP3 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales..... 354
Figura 212. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP5 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales..... 356

Figura 213. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP7 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales. 358
Figura 214. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP6 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales. 359
Figura 215. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP8 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales. 361
Figura 216. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP9 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales. 363
Figura 217. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP10 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales. 364
Figura 218. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP11 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 367
Figura 219. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP12 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 368
Figura 220. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP13 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 369
Figura 221. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP14 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 371
Figura 222. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP15 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 372

Figura 223. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP16 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 373
Figura 224. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP17 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 374
Figura 225. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP18 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 376
Figura 226. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP19 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 377
Figura 227. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP20 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 378
Figura 228. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP21 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 380
Figura 229. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP22 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 381
Figura 230. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP23 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 382
Figura 231. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP24 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 383
Figura 232. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP25 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 385

Figura 233. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP26 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 387
Figura 234. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP27 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 388
Figura 235. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP28 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales. 389
Figura 236. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la provincia de Roraima, sobre el mapa geológico de Hackley *et al*. (2005) para Venezuela y de Cole & Heesterman (2001) para Guyana. 390
Figura 237. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP1 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 392
Figura 238. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP2 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 393
Figura 239. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP3 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 395
Figura 240. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP4 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 397
Figura 241. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP5 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 399
Figura 242. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP6 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 400

Figura 243. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP7 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 402
Figura 244. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP8 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 403
Figura 245. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP9 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 405
Figura 246. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP10 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 407
Figura 247. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP11 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 408
Figura 248. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP12 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 410
Figura 249. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP13 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 411
Figura 250. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP14 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 412
Figura 251. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP15 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 414
Figura 252. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP16 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 416

Figura 253. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP17 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 418
Figura 254. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP18 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales. 419
Figura 255. Evolución geodinámica del margen Kanukú-Uraricoera-Mitú frente a Imataca-Pastora-Cuchivero. Cuc. = Cuchivero; R.N. = Río Negro; Par. = Parguaza. Aproximación esquemática de la evolución geológica del sistema a partir de los resultados obtenidos. La misma no fue elaborada a escala o mediante métodos de balanceo de secciones. 424

LISTA DE ABREVIACIONES

Edo.: Estado
Int.: intrusivo
Ava.: Avanavero
CRV: cinturón de rocas verdes
Sinc.: sicrónico, simultáneo.
Post.: posterior, después.
Dom.: dominio
Sup. Superficial
Cort.: cortical

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

El análisis avanzado de las medidas de gravedad, en correlación directa a la densidad, geometría y profundidad de los cuerpos rocosos, constituye una herramienta fundamental para comprender la configuración y evolución geológica de una región. La reciente disponibilidad de datos e información en cartas globales de datos potenciales de alta calidad y precisión proveniente de modelos combinados (Maus *et al*., 2007; Pavlis *et al*., 2008; Förste *et al*., 2014) permite este análisis gravimétrico, tanto para la envergadura regional como para la resolución espacial del dato que se requiere para esta investigación. Los trabajos de García (2009), Garzón (2010) y Linares *et al.* (2015) han demostrado la utilidad de este tipo de datos en el aspecto geológico y su correlación estadística con el dato de gravedad adquirido de manera tradicional. Esto aunado al hecho de que en Venezuela, durante los últimos años, se han llevado a cabo campañas de adquisición terrestre de remedida de estaciones de referencia (Arocha, 2016) junto a campañas para la toma de nuevas medidas en zonas donde la información era inexistente en el Escudo de Guayana (Bravo, 2015), lo que permite un soporte adicional al tratamiento del dato proveniente del modelo combinado. Los datos de anomalías de Bouguer fueron calculados mediante fórmulas que incorporan las últimas innovaciones, incluyendo términos de curvatura terrestre y el efecto gravimétrico de la atmósfera en la reducción.

Las circunstancias que permiten esta investigación de vanguardia hacen evidente la necesidad de estudiar y caracterizar el Escudo de Guayana mediante las últimas herramientas tecnológicas disponibles en datos de cartas globales de gravedad actuales, e integrar estos resultados con otras clases de información mediante la interpretación, considerando también, que el Escudo de Guayana es un territorio que se reviste de una invaluable importancia científica y económica para Venezuela y el mundo.

OBJETIVOS

I.1.1. General

Caracterizar la geología del Escudo de Guayana a partir de datos de gravedad.

I.1.2. Específicos

- Procesar los datos de gravedad disponibles para el estudio mediante técnicas avanzadas de inversión y estimación de profundidad/geometría de las fuentes.
- Interpretar los resultados obtenidos mediante su correlación con la geología de la región e integración con otras fuentes de datos disponibles.
- Modelar la respuesta gravimétrica de las estructuras geológicas principales a través de tres (3) perfiles trazados sobre los principales rasgos geológicos/tectónicos de la región.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La provincia fisiográfica de Guayana presenta una extensión aproximada de 425.000 km^2, constituyendo casi el 50% del territorio venezolano (González de Juana *et al*., 1980). Esta región, en términos geológicos, está compuesta por cuerpos rocosos que integran un conjunto de provincias denominado como "Escudo de Guayana", que a su vez forma parte en contexto regional del Cratón Amazónico. Estas denominaciones han sido atribuidas debido a que el término "Escudo" es utilizado para describir un área continental o subcontinental de rocas cristalinas de edades precámbricas. El término "Cratón" refiere a un núcleo estable dentro de los Escudos, conformados por terrenos de complejos graníticos que incorporan cinturones de rocas verdes del Precámbrico Temprano, formando una entidad compuesta y bien definida que no ha sido afectada por ningún evento tectónico-termal durante los últimos 2.400 Ma (Anhaeusser *et al.*, 1969). Los Escudos son las unidades núcleo que forman hoy en día a los continentes (Correa *et al.*, 2014). Los Cratones arqueanos están compuestos de dos tipos de rocas principalmente: terrenos de granito-gneis (que representan a continentes primitivos) y cinturones de rocas verdes (que representan océanos primitivos); formados probablemente por la colisión de micro-continentes con porciones de océanos primitivos atrapadas a lo largo de las zonas de sutura (Prothero &

Dott, 2009). El Escudo de Guayana está compuesto de rocas Arqueozoicas y Proterozoicas principalmente (Mendoza *et al*., 2019), que debido a las condiciones bajo las cuales estas rocas se formaron, alojan grandes cantidades y variedad de recursos minerales.

CONTEXTO GEOFÍSICO

La geofísica, a través de sus métodos, ha sido parte fundamental en el estudio de la composición interna del planeta. La aplicación de medidas de gravedad a problemas geológicos se remonta a las teorías de John Pratt y George Airy (publicadas entre 1855 y 1859) respecto al soporte isostático de la topografía. Hugo V. Boeckh usó la balanza de Eötvös para medir la gravedad sobre anticlinales y domos, y explicó sus observaciones en términos de la densidad de las rocas que componen estas estructuras (Jakosky, 1950; Blakely, 1996).

En la actualidad, el estudio de los valores de gravedad medidos en cierta región junto a la aplicación de técnicas de procesamiento ha permitido el entendimiento de sistemas corticales complejos en Escudos y Cratones, como en Himabindu & Ramadass (2004), Nayak *et al.* (2006), Tadjou *et al.* (2009), Lince *et al.* (2011), entre otros. El desarrollo tecnológico en algoritmos avanzados para resolver complejas ecuaciones ha permitido que sus cálculos sean más eficientes, rápidos y precisos, mediante un conjunto de herramientas de procesamiento que, a partir de la detección de anomalías y sus gradientes, establecen profundidades de contraste que caracterizan la configuración geológica de cualquier región en el mundo. Estas técnicas son universalmente aceptadas y han probado ser eficientes mediante su integración, tanto al ser aplicadas en diferentes tipos de datos como en la variabilidad de las técnicas disponibles. Todo ello combinado a su vez con una creciente disponibilidad de datos e información en cartas globales de datos potenciales de alta calidad y precisión (Maus *et al*., 2007; Pavlis *et al*., 2008; Förste *et al*., 2014) que permiten el análisis avanzado de cuerpos geológicos. El límite investigativo que imponía la disposición de campañas de adquisición terrestre, marina o aerotransportadas para medir la gravedad ha sido superado a través del uso de satélites que, calibrados con las mediciones terrestres disponibles, brindan información en áreas no consideradas por los diseños de adquisición tradicional. Esto ha permitido la caracterización regional y local (considerando la resolución del dato) de la geología con precisión y calidad.

METODOLOGÍA

El estudio se encuentra dividido en tres (3) etapas principales, concordantes con los objetivos específicos de la investigación, de las cuales derivan subetapas que constituyen procesos, procedimientos y análisis que convergen en los resultados finales de este estudio concernientes a la caracterización gravimétrica/geológica del Escudo de Guayana (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo de la investigación.

Inicialmente se recopila la información preexistente y de diferentes fuentes de datos geofísicos, y se establece el origen, calidad y composición de la base de datos a utilizar de medidas de gravedad, siendo esta el insumo principal de la investigación. Posteriormente se procede al abordaje de las tres etapas cronológicamente (recuadros morados en la Figura 1) para el tratamiento avanzado de este conjunto de datos en correlación e integración con otras fuentes de datos e información relevante.

En las etapas 2 y 3 del estudio, no se subdividen los procesos que se llevaran a cabo priori, ya que existe dependencia cronológica entre ellas, donde los resultados obtenidos durante la etapa 1 y la cantidad de información disponible adicional condicionará los argumentos interpretativos y su manera de procesamiento y representación.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

El marco de este estudio se limita a la caracterización de la provincia fisiográfica enmarcada por los diferentes autores (González de Juana *et al.*, 1980; Mendoza, 2005; entre otros) como Escudo de Guayana, en su aspecto geológico/tectónico a partir de datos de gravedad disponibles y de libre acceso (Figura 2). La provincia que constituye al Escudo de Guayana está limitada al norte por el curso del río Orinoco, al oeste por la frontera de Colombia formada por el curso del citado Orinoco entre las desembocaduras del Meta y del Guavire y parcialmente por el curso de los ríos Atabapo, Guainia y Negro hasta la población de San Simón de Cocuy, y al sur por las fronteras con Brasil y Guyana. La zona está conformada por rocas Precámbricas que alcanzan la edad de 3.6 Ga en un rango topográfico de 1200 m a 3000 m de altura. Por motivos geológicos y geofísicos, la ventana que limita al estudio se encuentra entre latitudes -1º a 9º, y entre longitudes -57º a -69º.

Este estudio no requiere de financiamiento debido a que los datos son de libre acceso y el software y hardware necesarios para los procesos a efectuar están disponibles.

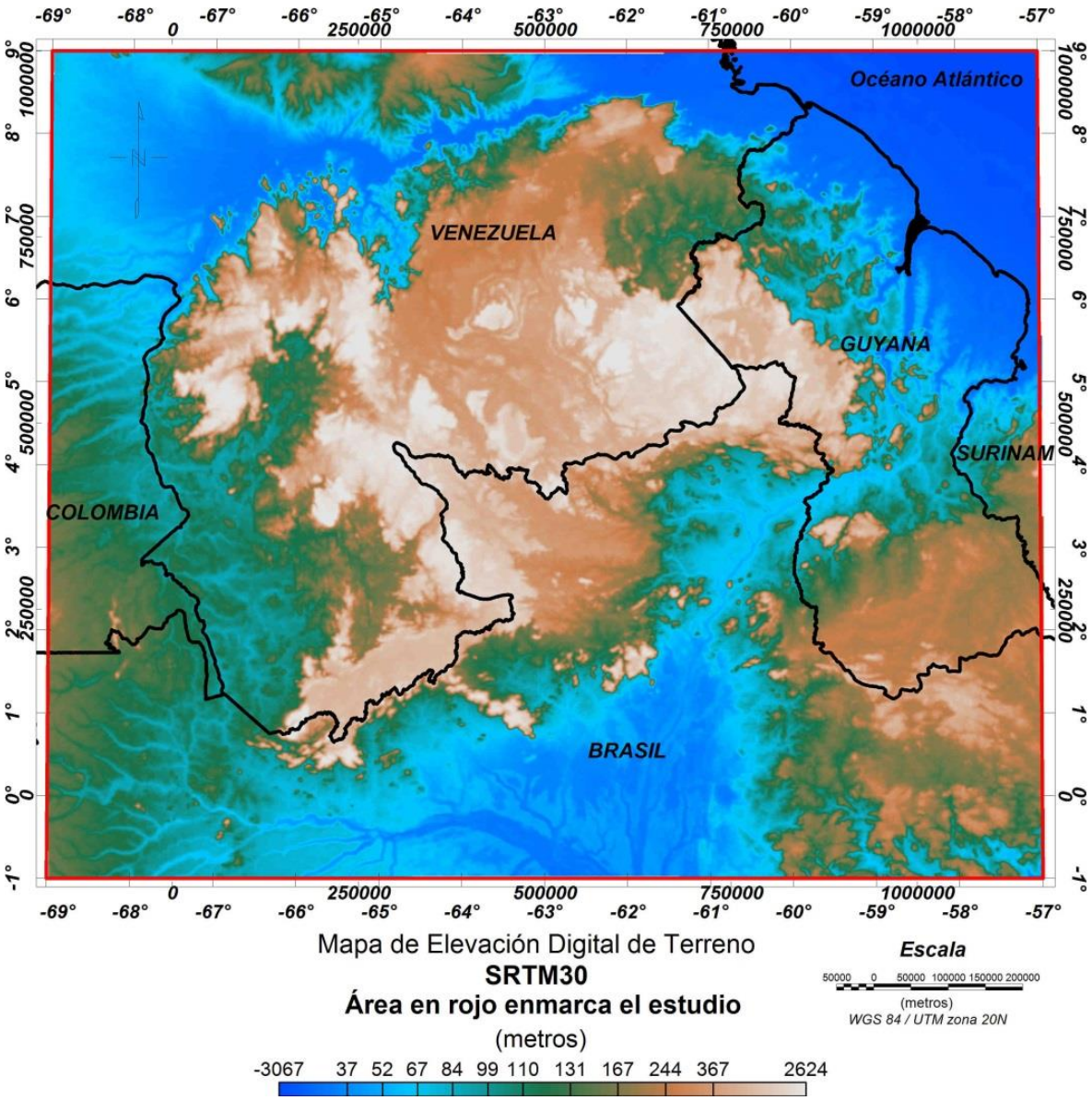


Figura 2. Mapa de ubicación del estudio.

APORTE AL CONOCIMIENTO

La aplicación de las técnicas anteriormente mencionadas, junto a su interpretación integral con otros datos disponibles en la región, constituye una investigación sin precedentes y de alto nivel técnico en el marco de las disciplinas que integran la geociencia. Son técnicas y procedimientos innovadores que, aplicados a datos actuales, generan resultados de gran valor, calidad e importancia para la región del Escudo de Guayana. Los resultados

obtenidos al finalizar el estudio serán de libre acceso y consulta, y las interpretaciones derivadas de ellos constituirán mecanismo de soporte para la validación de antiguas hipótesis o para la formulación de nuevas, que permitan comprender la configuración y evolución geológica de la región.

CAPÍTULO II
LOS DATOS

En este estudio, dos conjuntos de datos geofísicos son utilizados principalmente: datos de gravedad y datos de magnetismo. Estos datos a su vez se encuentran en la forma de anomalías, tanto de Bouguer como magnéticas respectivamente, y ambos provienen originalmente de modelos combinados calculados a partir de medidas satelitales incorporando datos terrestres, marinos y aerotransportados. Existen satélites en órbita baja que cuentan con instrumentos capaces de medir campos potenciales, que permiten a su vez construir modelos y cartas en escalas regionales de este tipo de datos (Hemant *et al.*, 2007; Maus *et al*., 2007; Pavlis *et al*., 2008; entre otros). Las características de cada conjunto de datos serán descritas a continuación.

DATOS DE ANOMALÍA DE BOUGUER

El conjunto de datos de gravedad proviene de la validación y cálculo de un nuevo mapa de anomalías de Bouguer para Venezuela utilizando el modelo combinado EIGEN-6c4 (*European Improved Gravity model of the Earth by New techniques, versión 6c4* - Figura 3) y modelos topográficos más recientes como el SRTM30 (*Shuttle Radar Topography Mission*, 30 arco-segundos de resolución). El modelo combinado consiste en datos satelitales nivelados y expandidos en sus harmónicos hasta el orden y grado 2190 mediante la integración con datos aerotransportados, terrestres y marinos. Este modelo particular EIGEN-6c4 resulta del trabajo conjunto del GFZ Potsdam y el GRGS/CNES Toulouse (Förste *et al*., 2014).

El modelo fue construido tomando los datos LAGEOS-1/2 SLR de GRGS (1985-2010) que aportan dos ecuaciones normales hasta el grado/orden 30, los datos GRACE GPS-SST y K-band del GRGS (febrero 2003 - diciembre 2012) que aportan tres ecuaciones normales hasta el grado 175, los últimos datos de la misión GOCE que comprenden datos SGG (Satellite Gravity Gradiometry) (Txx, Tyy, Tzz, Tzx) desde noviembre de 2009 a octubre de 2013 ponderados por medida con RMS de residuales y ecuaciones normales para cada

componente que llevan el modelo hasta el grado/orden 300 y, por último, la información en superficie de los mallados globales de anomalía gravimétrica DTU 2'x2' (Andersen, 2010) sobre los océanos y EGM2008 (Pavlis *et al*., 2012) sobre los continentes hasta el grado/orden 2190. La combinación de los diferentes tipos de datos se hizo mediante la combinación de banda limitada de las ecuaciones normales, en función de su resolución y precisión (Förste *et al*., 2008). Este modelo incluye nuevos datos respecto al EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008) y una mejora sustancial ya evaluada en otros lugares del mundo (Förste *et al*., 2014).

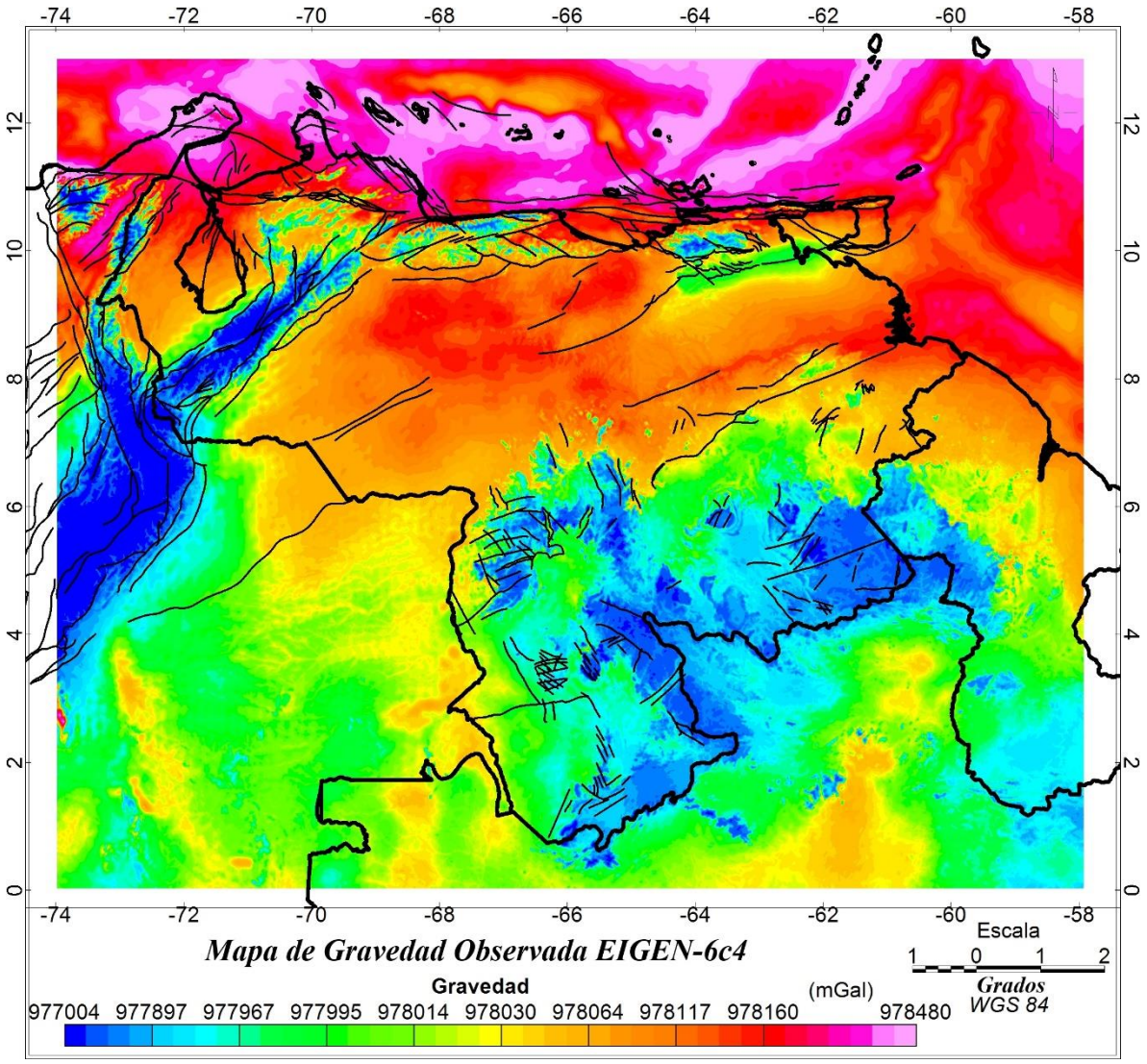


Figura 3. Mapa de gravedad observada del modelo EIGEN-6c4. Líneas negras representan límites político-territoriales y principales fallas (modificado de Audemard *et al*. 2000 y de Tapias *et al*. 2006).

A partir de este modelo, Linares *et al.* (2015) validaron estadística y geológicamente los datos de gravedad observada al comparar tales datos respecto al modelo preexistente EGM2008 (*Earth Gravitational Model* 2008, publicado por Pavlis *et al*., 2012), validado por Garzón (2010) para la cuenca Oriental de Venezuela y por García (2009) para toda Venezuela, y también al compararlos frente a datos terrestres adquiridos durante campañas gravimétricas que se habían llevado a cabo en ese momento, principalmente datos adquiridos en las regiones de los Andes de Mérida y el escudo de Guayana. El estudio de García (2009) realizó el cálculo de anomalías de Bouguer para toda Venezuela a partir del modelo combinado EGM2008.

Las validaciones y comparaciones se realizaron tanto en datos de gravedad observada como en datos topográficos, mediante el trazado de perfiles y comparaciones en los valores estadísticos de los conjuntos de datos. El histograma de frecuencia de ambos modelos (Figura 4) muestra una tendencia modal entre los 977.960 mGal y los 978.040 mGal y una distribución del dato mejor normalizada en el modelo EIGEN-6c4 respecto al modelo previo. El sesgo de ambos modelos es hacia valores bajos de gravedad, lo cual es característico de la zona por la influencia de rocas continentales y proximidad al ecuador terrestre.

El gráfico de dispersión es una manera de representar cuánto difieren los datos entre sí (Figura 5). La comparación se realiza graficando directamente las gravedades del modelo EGM2008 en el eje X y las del EIGEN-6c4 en el eje Y; cuanto más se alejan los datos de una recta inclinada 45º, mayor es la diferencia entre los modelos en los mismos puntos geográficos. El gráfico muestra buena concordancia en la información. Sin embargo, en ciertas regiones geográficas, el EGM2008 subestimó el valor de gravedad observada respecto al EIGEN-6c4, principalmente donde los valores de gravedad se encuentran entre 977.600 mGal y 978.000 mGal (Linares *et al*., 2015).

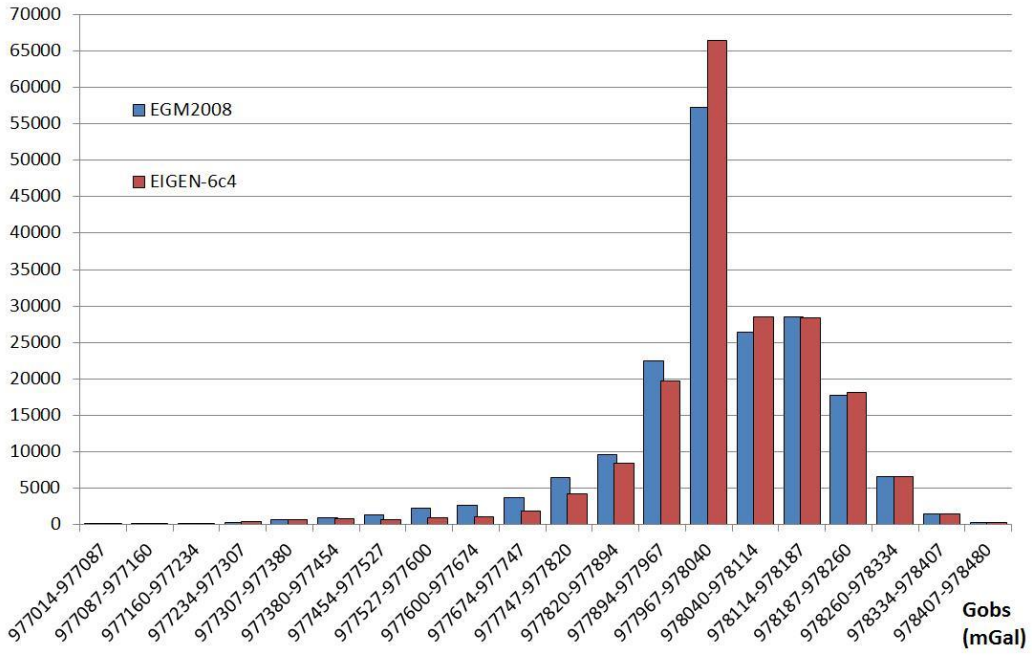


Figura 4. Histograma de frecuencia de la gravedad observada del modelo EGM2008 (barras azules) y del modelo EIGEN-6c4 (barras rojas). Tomado de Linares *et al*. (2015).

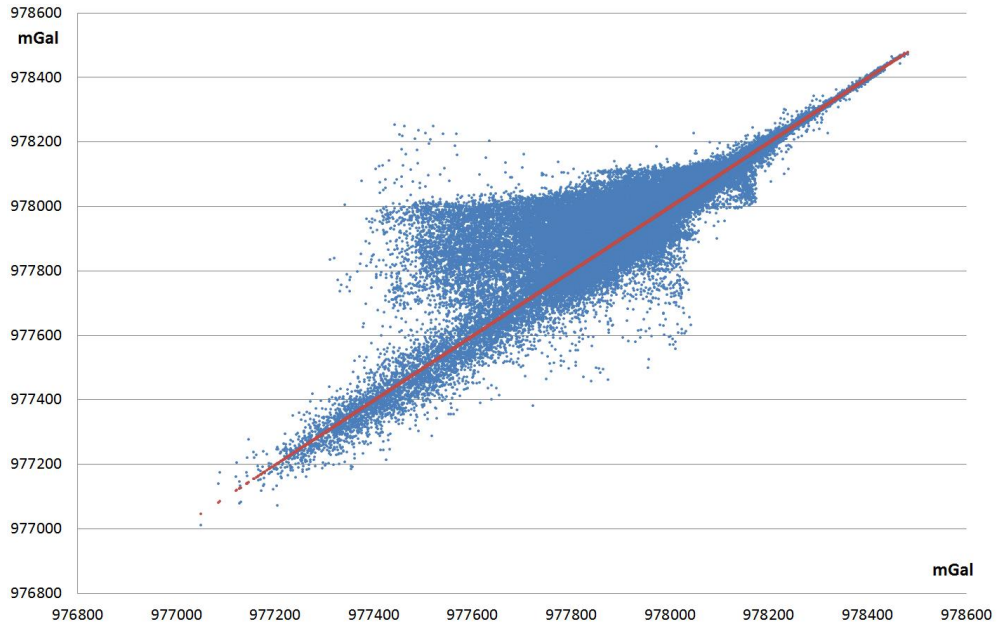


Figura 5. Gráfico de dispersión de los datos. Eje X: EGM2008; eje Y: EIGEN-6c4. Tomado de Linares *et al*. (2015).

Una de las herramientas utilizadas por Linares *et al*. (2015) fue la comparación mediante perfiles trazados sobre los principales hitos geográficos del país. El resultado al comparar el modelo EGM2008 contra el modelo EIGEN-6c4 se pueden observar en la Figura 6. La incorporación de nuevos datos en el EIGEN-6c4 marca la diferencia más significativa sobre los estados de Amazonas y Bolívar, región que genera las diferencias observadas en el gráfico de dispersión, y que comprende el objeto del presente estudio.

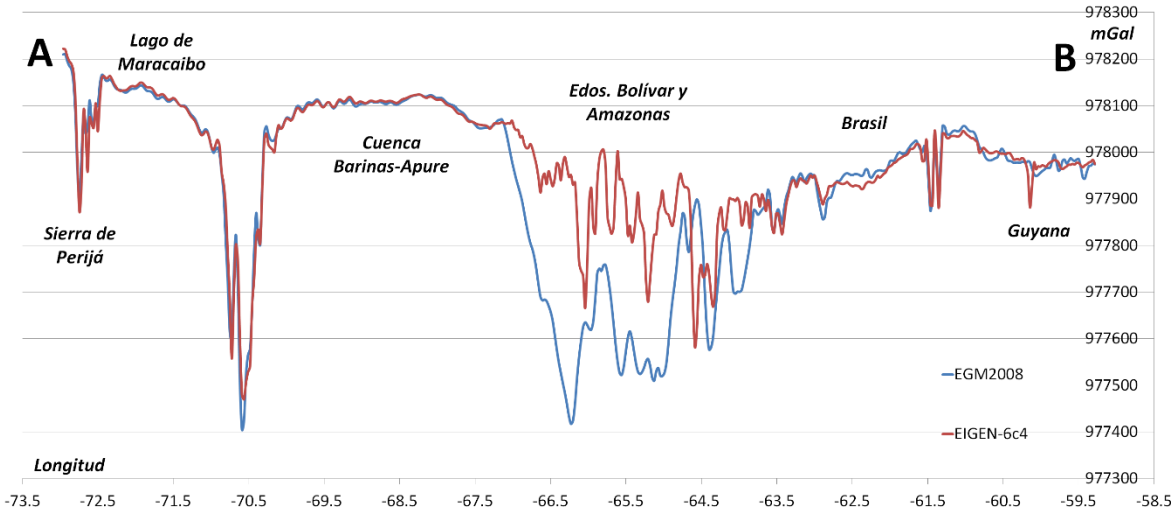


Figura 6. Gráfico comparativo sobre un perfil con orientación aproximada N45°O. Línea en rojo: gravedad observada del modelo EIGEN-6c4, línea azul: gravedad observada del modelo EGM2008. El coeficiente de correlación entre ambas curvas es de 0,80051.

Otros dos perfiles fueron trazados para comparar ambos conjuntos de datos respecto a valores obtenidos en campañas terrestres ubicados en los Andes de Mérida y el Escudo de Guayana, las regiones que precisamente presentaban mayores discrepancias entre ambos modelos. Estos resultados se observan en las Figura 7 yFigura 9, en cuyas ubicaciones se realizaron también las comparaciones del modelo topográfico respecto a los datos de elevación obtenidos en las mismas campañas (Figura 8 y Figura 10).

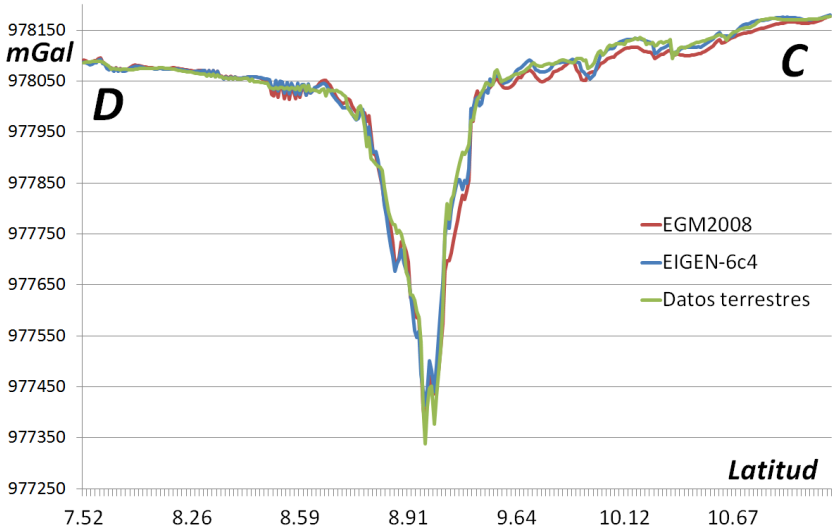


Figura 7. Comparación de las gravedades observadas sobre un perfil (perfil CD en la Figura 11). Línea verde: datos terrestres, línea roja: datos EGM2008, línea azul: datos EIGEN-6c4.

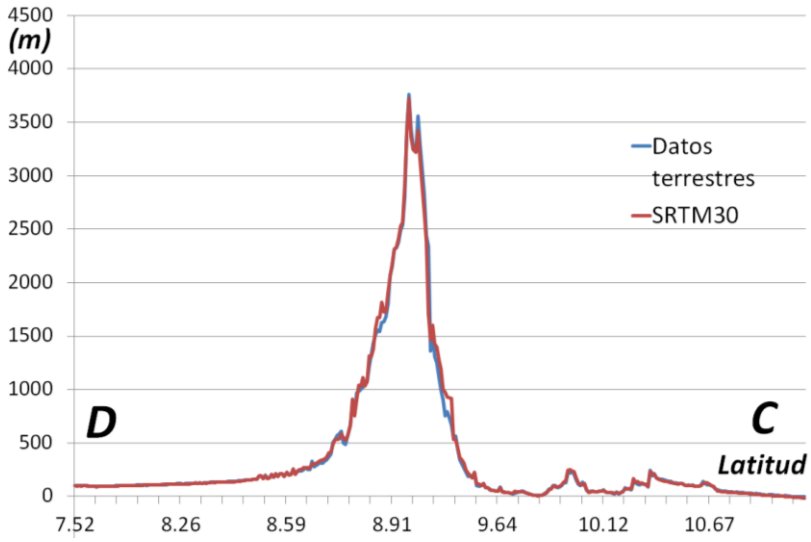


Figura 8. Comparación sobre un perfil del modelo de elevación de terreno SRTM30 corregido al elipsoide GRS80 respecto a los valores de elevación medidos durante las campañas terrestres en metros. Línea roja: valores de elevación del SRTM30, línea azul: alturas medidas en campañas terrestres. Coeficiente de correlación 0,997045.

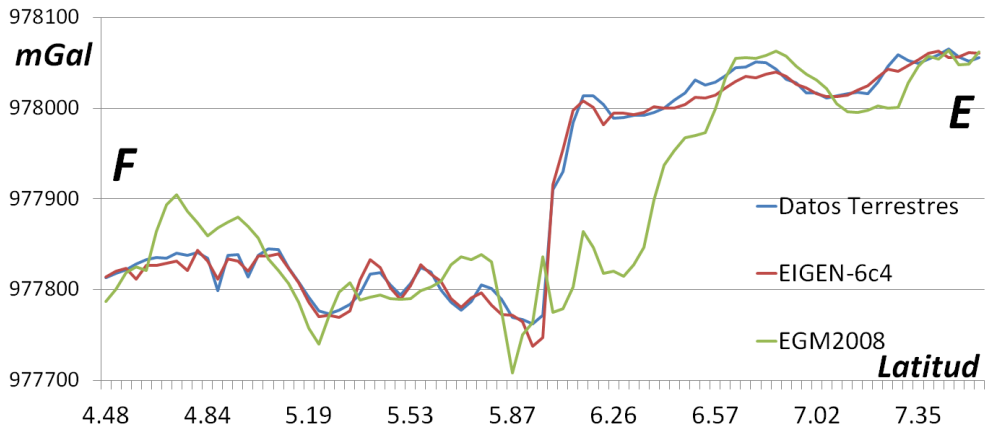


Figura 9. Perfil de comparación entre los valores de gravedad observada en tierra y la gravedad observada de los modelos combinados (perfil EF en la Figura 11). Línea azul: gravedad observada con adquisición terrestre, línea roja: medidas del EIGEN-6c4, línea verde: medidas del EGM2008. El coeficiente de correlación entre los datos terrestres y los del modelo EGM2008 es de 0,844335, y entre los terrestres y los del modelo EIGEN-6c4 es de 0,996354.

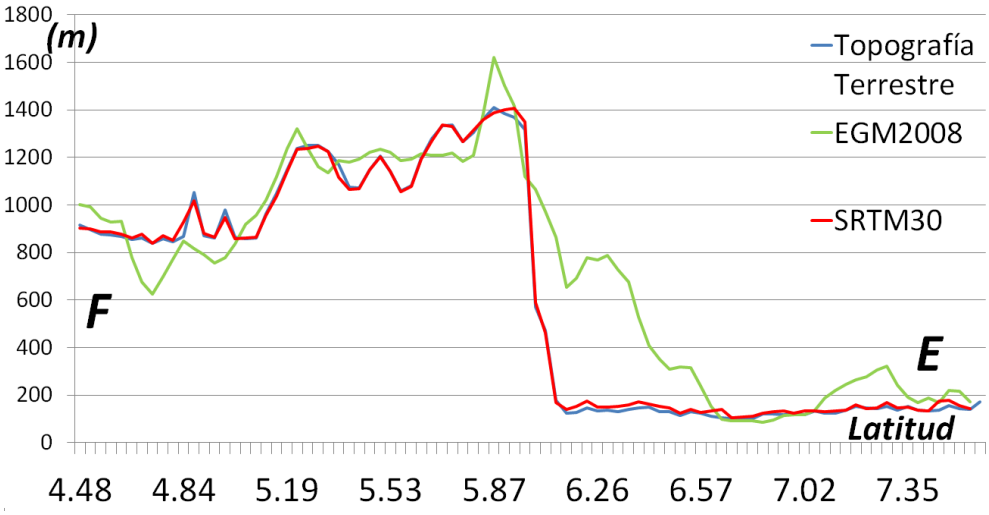


Figura 10. Comparación sobre el perfil Bolívar entre las alturas medidas en tierra (línea azul, las alturas del SRTM30 corregido al elipsoide (línea roja) y las alturas utilizadas por el modelo EGM2008 (línea verde). Coeficiente de correlación entre los datos terrestres y EGM2008 de 0,90586859 y entre los datos terrestres y el SRTM30 de 0,99952838.

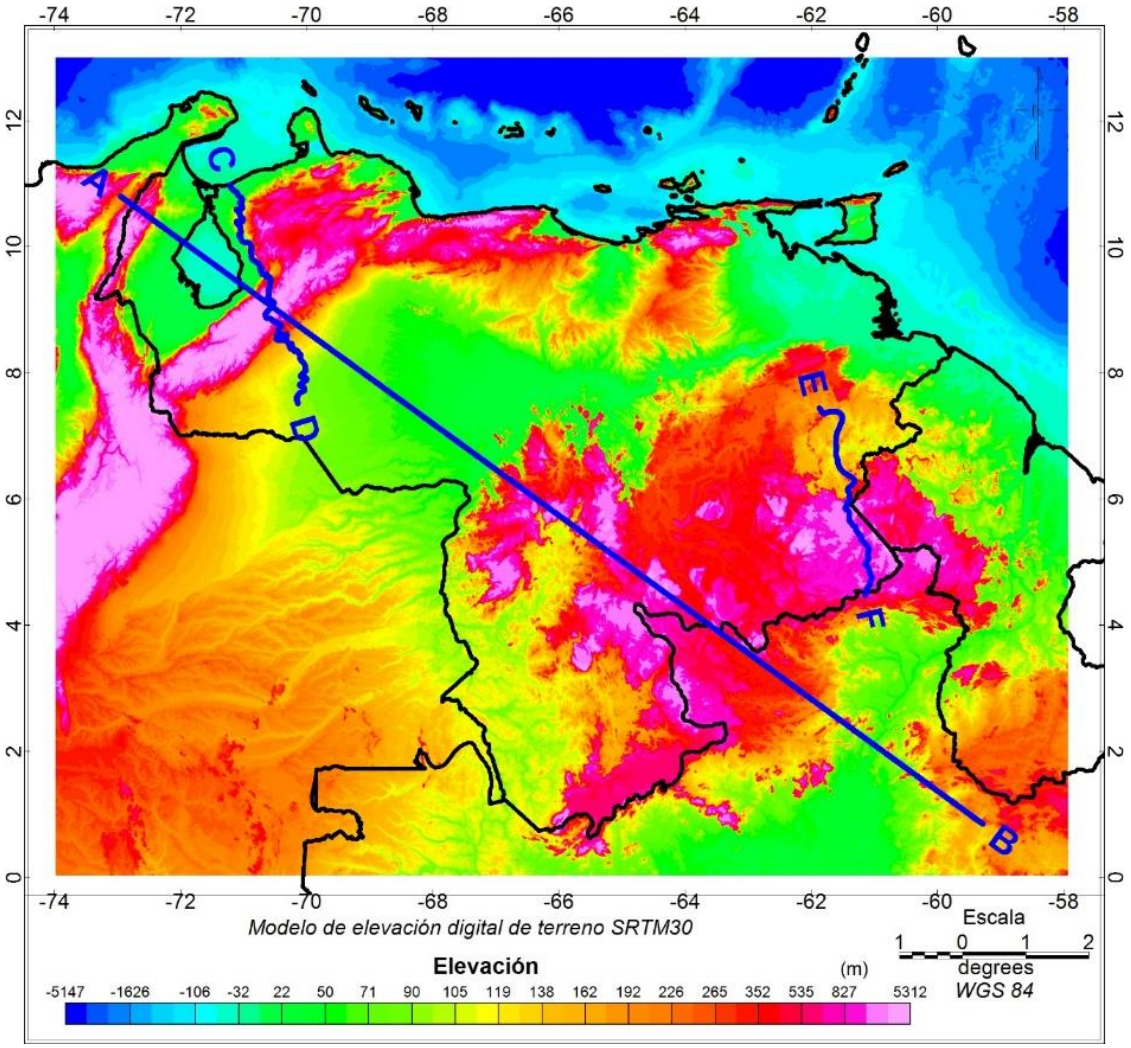


Figura 11. Mapa de ubicación de los perfiles evaluados en el trabajo de Linares *et al*. (2015) sobre el modelo de elevación digital de terreno SRTM30 publicado por Sandwell *et al*. (2014).

El gráfico de desviación de pendientes (Figura 12) busca establecer qué modelo combinado de datos concuerda en tendencia con los datos terrestres. En el mismo se puede observar el paralelismo entre la recta idealizada o de referencia y la recta del modelo EIGEN-6c4, cuya recta prácticamente solapa a la ideal (pendiente de 0,9989). Por el contrario, la recta que representa al modelo EMG2008 difiere considerablemente, donde el valor de su pendiente resulta en 0,8102.

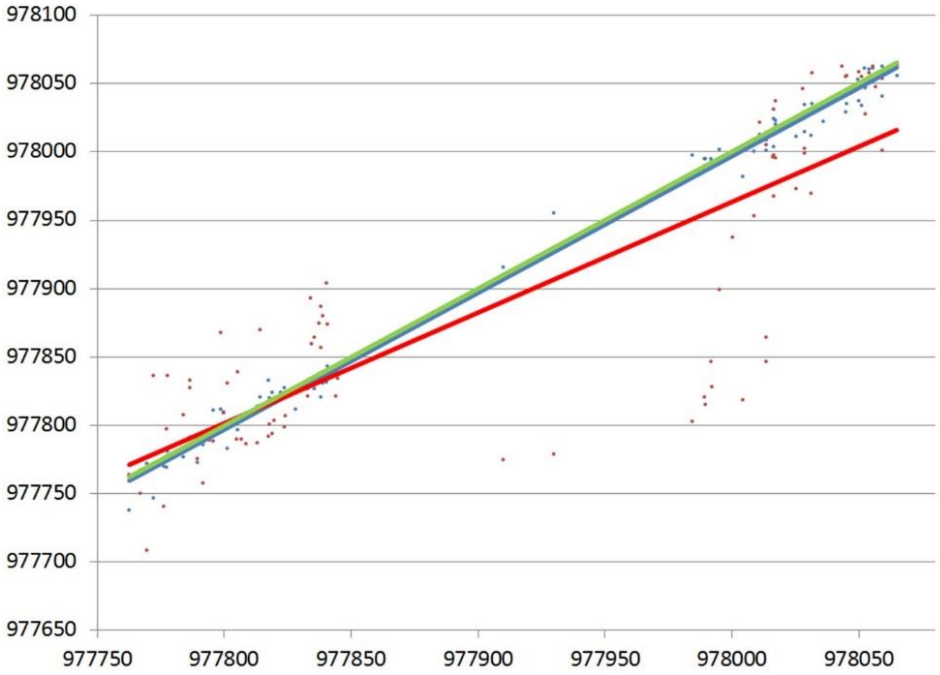


Figura 12. Representación de la desviación de la tendencia de los datos en el perfil Bolívar (ambos ejes en unidades de mGal). Los puntos verdes y la línea verde indica los datos terrestres respecto a ellos mismos (tendencia ideal o de referencia [$y = x$]), los puntos azules y la línea azul representan datos del EIGEN-6c4 respecto a los datos terrestres [$y = 0{,}9989x + 1074{,}3$], los puntos rojos y la línea roja representan datos del EGM2008 representados respecto a los datos terrestres [$y = 0{,}8102x + 1856361$].

De los resultados obtenidos por el estudio de Linares *et al*. (2015), se concluye que los datos del modelo combinado EIGEN-6c4 presentar una mayor correlación respecto a datos de gravedad adquiridos en campañas terrestres, y que, además, sus valores representan de manera acertada los valores de ésta, permitiendo caracterizar la heterogeneidad geológica de Venezuela mediante un modelo mejor y más reciente.

De los análisis mencionados anteriormente deriva que el ajuste deficiente del modelo EGM2008 en la zona del escudo de Guayana, más que de cualquier imprecisión en las medidas del valor de gravedad y/o de su menor resolución de harmónicos, se debe al modelo digital de terreno utilizado al procesar los datos del EGM2008.

A partir de esta validación, el resultado final deriva en la construcción del mapa de anomalías de Bouguer en primer y en segundo orden, para el cual se consideraron los siguientes aspectos:

- ***La fórmula utilizada para el cálculo de anomalías en primer orden es la siguiente:***

$$AB = G_{obs} +/- C_{al} -/+ C_{bou} + C_{top} - G_{teo} \textbf{ (Ecuación 1)}$$

Donde AB: anomalía de Bouguer, G_{obs}: gravedad observada corregida por mareas y deriva instrumental, C_{al}: corrección de aire libre (0,3086 x altura de la estación), C_{bou}: corrección de Bouguer (0,0419 x densidad de reducción x altura de la estación), C_{top}: corrección topográfica, G_{teo}: gravedad teórica según latitud de la estación respecto (en este estudio) al elipsoide GRS80 (Hildenbrand *et al*., 2002; Moritz, 2000).

- ***La fórmula para calcular anomalías de Bouguer de segundo orden comprende:***

$$AB = G_{obs} + C_{atm} +/- C_{al} -/+ C_{bou} + C_{top} - G_{teo} \textbf{ (Ecuación 2)}$$

Donde C_{atm} es la corrección atmosférica. Si bien las correcciones son homónimas (con excepción del término C_{atm}), esta fórmula de segundo orden incluye argumentos dentro de cada corrección que toman en cuenta la curvatura de la Tierra (Hildenbrand *et al*., 2002):

$$C_{atm} = 0{,}874 - 9{,}9*10^{-5}* h + 3{,}56*10^{-9}*h^2 \textbf{ (Ecuación 3)}$$

Donde h es la altura en metros respecto al elipsoide GRS80 (Hildenbrand *et al*., 2002; Li & Götze, 2001).

$$C_{al} = (0{,}3087691 - 0{,}0004398*sen^2(\theta))*h + 7{,}2125*10^{-8}*h^2 \textbf{ (Ecuación 4)}$$

$$G_{teo} = \frac{Ge\ (1+k*(sen\varphi)^2)}{\sqrt{1-e^2*(sen\varphi)^2}} \textbf{ (Ecuación 5)}$$

Donde Ge: 978032,67715 mGal; k: 0,001931851353; e^2: 0,0066943800229

$$C_{bou} = 2\pi*G*\rho*h*(\alpha/2-\eta*(1+1/(2\alpha))) \textbf{ (Ecuación 6)}$$

Donde G es la constante de gravitación universal, ρ: densidad del material, μ y λ: coeficientes definidos por LaFehr (1991).

- ***Los valores topografía utilizados corresponden con el modelo SRTM30, luego de ser corregidos al elipsoide GRS80 utilizando los datos del geoide EGM96. Todas las correcciones particulares fueron aplicadas al nivel de referencia de 0 m de este elipsoide.***

- ***La reducción a anomalía de Bouguer se realizó considerando una densidad de Bouguer de 2,67 g/cm^3.***
- ***El mapa final se presentó a una escala de 1:100.000, y los datos presentan un espaciado de estaciones de 1 km tanto longitudinal como latitudinalmente.***

Estos cálculos derivan en el mapa que se presenta en la Figura 13. Es de acotar que, para efectos de la validación, la malla de datos presentada estuvo entre longitudes -74° y -58°, y entre latitudes 0° y 12,5° (como se observa en la Figura 13), pero los cálculos originales, es decir, el total del conjunto de datos calculados se encuentran entre longitudes -75° a -57°, y entre latitudes -1° a 17°. Es por tal motivo que el conjunto de datos tomados para el estudio objeto de este documento tiene los límites geográficos de -69° a -57° de longitud y -1° a 9° de latitud (Figura 14).

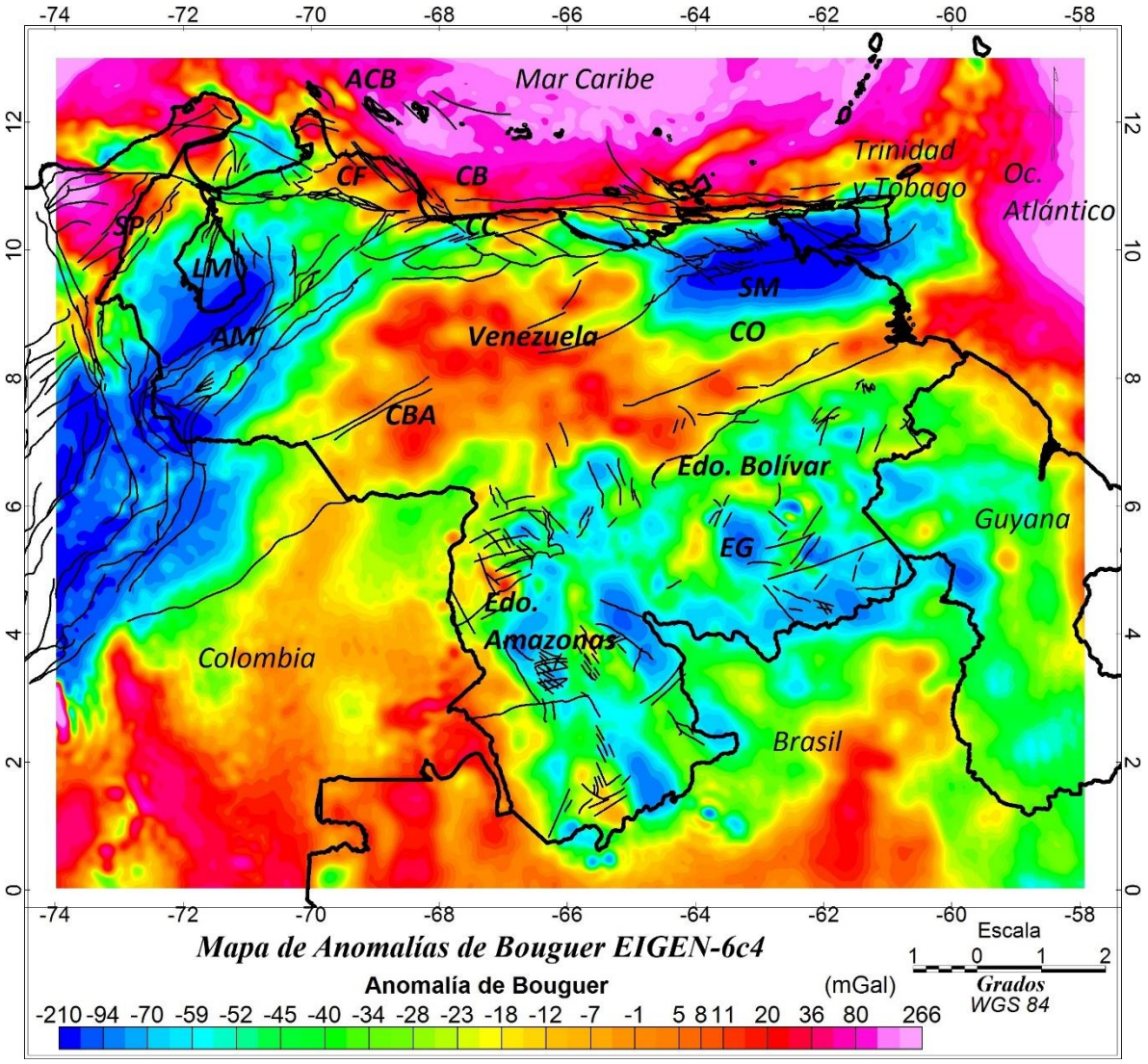


Figura 13. Mapa de anomalías de Bouguer de Venezuela calculado a partir del modelo combinado EIGEN-6c4 (Linares *et al.*, 2015). Líneas negras: límites político-territoriales y principales sistemas de fallas (modificado de Audemard *et al.* 2000 y de Tapias *et al.* 2006).

La malla de datos de la Figura 14 ha sido filtrada con un paso-bajo de longitud de onda de 50 km; esto es solo para efectos de representar los límites de estudio, ya que para cada provincia será evaluado cada filtro en específico de acuerdo a las características del dato en esa zona, las dimensiones del área y los objetivos de la interpretación.

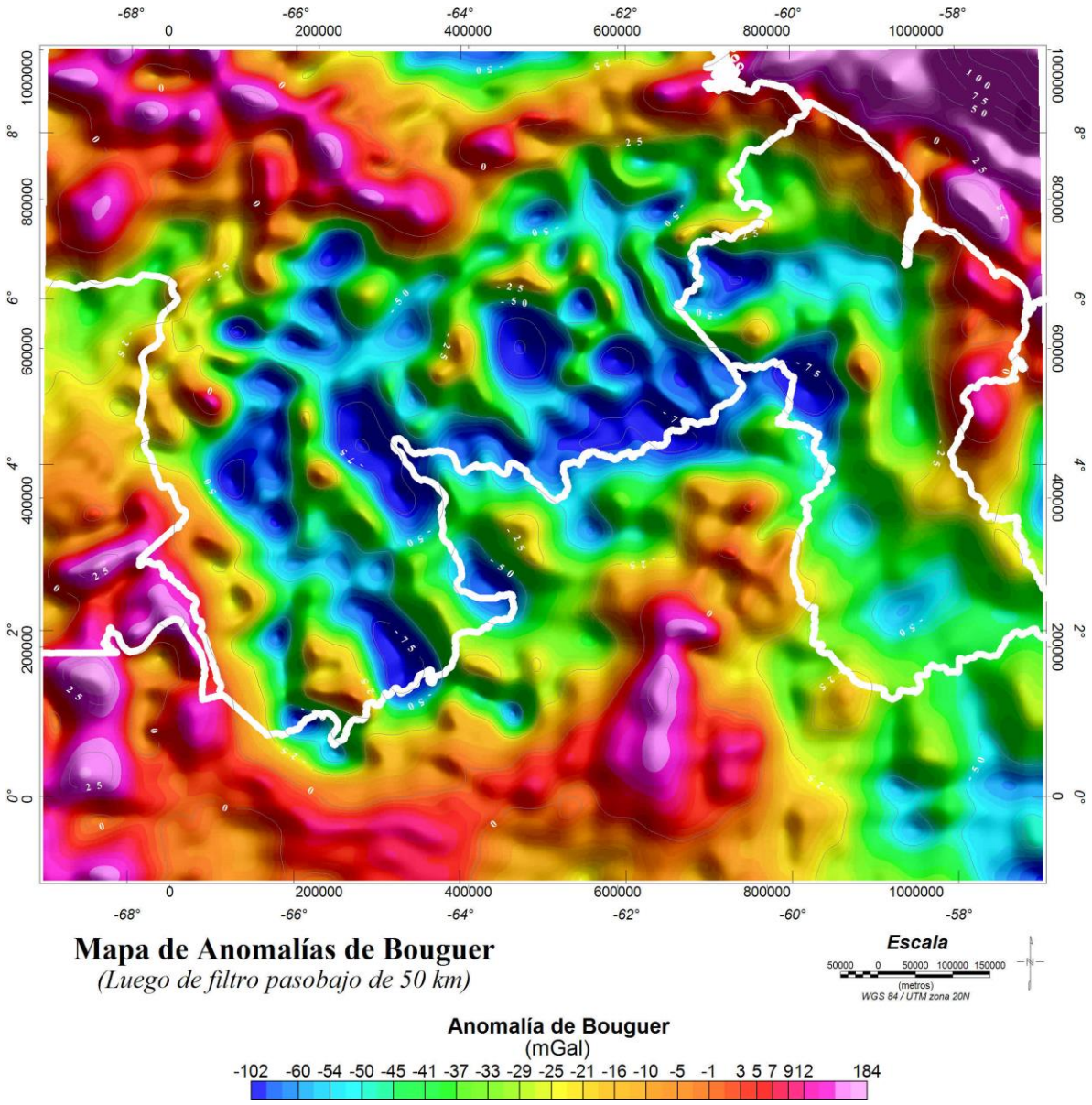


Figura 14. Mapa de anomalías de Bouguer para la zona en estudio, derivado del modelo EIGEN-6c4. Tomado de Linares *et al*. (2015). Líneas de contorno en gris cada 25 mGal. Líneas blancas: límites político-territoriales.

DATOS DE ANOMALÍA MAGNÉTICA

Los datos de anomalía magnética (Figura 15) provienen del Mallado de Anomalías Magnéticas Global EMAG2 (Maus *et al*., 2009). Este mallado fue desarrollado por la Comisión del Mapa Geológico del Mundo incluyendo datos combinados (satelitales, aerotransportados, terrestres y marinos). Ofrece una resolución de 2 arco-minutos y su nivel

de referencia es de 4 km sobre el geoide. Los datos magnéticos satelitales utilizados en el EMAG2 provienen del magnetómetro a bordo en el satélite CHAMP (Maus *et al*., 2009).

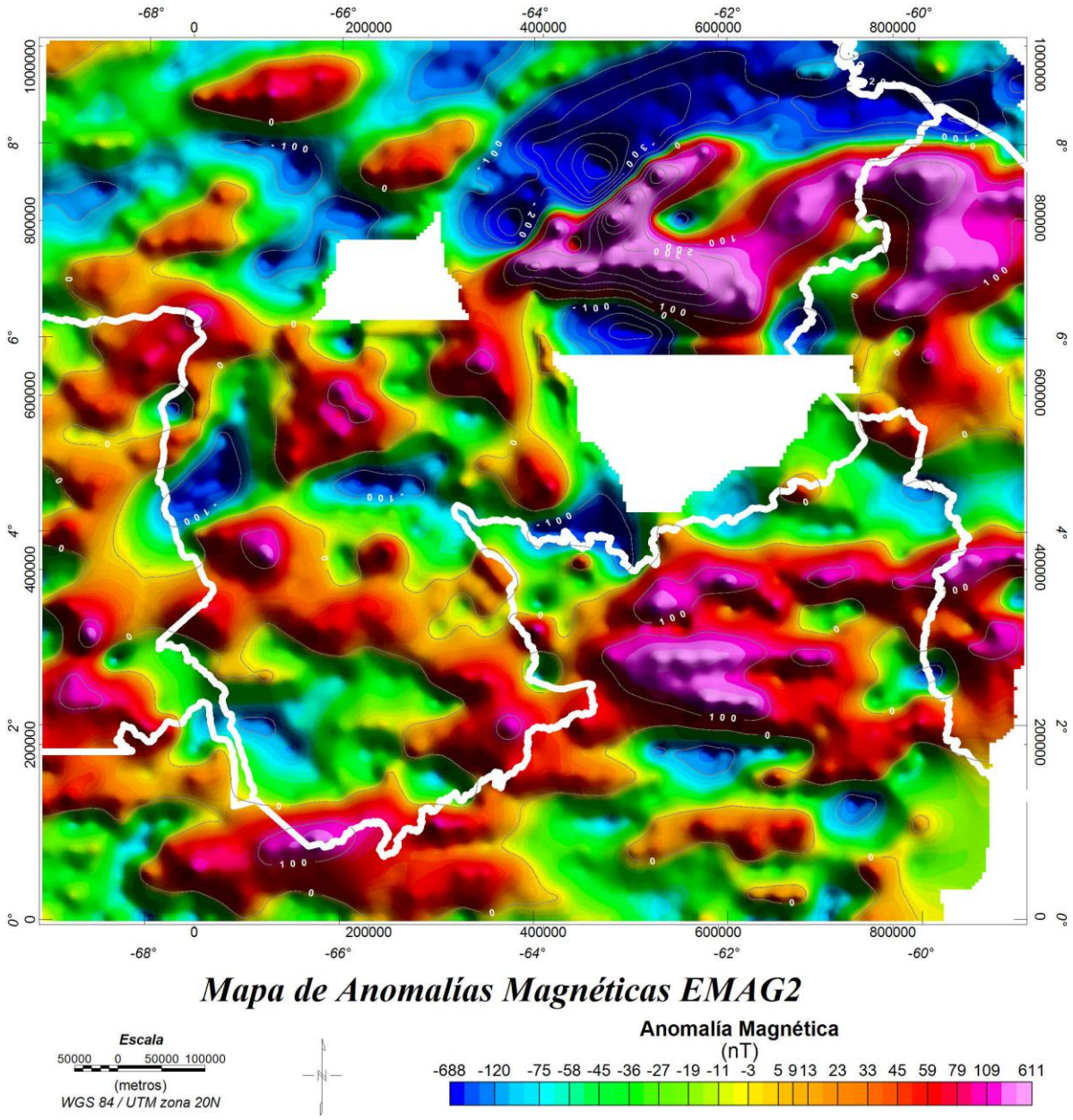


Figura 15. Mapa de anomalías magnéticas del modelo combinado EMAG2 (Maus *et al*., 2009). Líneas de contorno en color gris cada 100 nT. Líneas color blanco: límites político-territoriales. Zonas en blanco indican vacío de datos.

Para este estudio, la ventana disponible de datos a utilizar comprende entre longitudes -68,5° y -59,5°, y entre latitudes 0° y 8,5°, considerando a su vez que existen zonas donde

no se tiene información. Las estaciones de datos se encuentran espaciadas una distancia de 4 km tanto en dirección latitudinal como longitudinal.

Las características de cada conjunto de datos serán evaluadas de acuerdo con el alcance de este estudio y en las áreas geográficas que corresponden a cada capítulo.

CAPÍTULO III
IMATACA

La provincia se extiende desde las proximidades del Río Caura hasta el Delta del Orinoco en dirección SO-NE, aflorando al norte desde el curso del Río Orinoco hasta la falla de Gurí al sur. No parecen existir razones para que esta provincia no se extienda hacia el norte, más allá del Río Orinoco en subsuelo, y quizás en tiempos de disrupción de Pangea hacia África Occidental (Mendoza, 2005).

En términos generales, litológicamente se encuentra compuesta por gneises graníticos y granulitas félsicas (60%-75%), anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultramáficas (15%-20%), y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro (BIF), dolomitas, charnockitas, anortositas, granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionados menos metamorfizados y CRV-TTG gnéisicos más jóvenes (Mendoza, 2005).

González de Juana (1980) describe la litología característica de este complejo con gneises félsicos y máficos intercalados con capas de cuarcitas ferruginosas, granulitas y cuerpos delgados interestratificados de rocas graníticas. En todo el complejo las rocas leucocráticas predominan y constituyes aproximadamente el 80% de la unidad, los gneises máficos el 10% de la secuencia y el resto lo componen gneises graníticos y escasas anfibolitas.

El metamorfismo registrado en las rocas decrece desde la mina de hierro de El Pao, con granulitas de dos piroxenos en charnockitas, anortositas y granulitas máficas y ultramáficas (sugiriendo temperaturas de 750ºC-850ºC, presiones de 8 a 8,5 kbs, equivalente a menos de 30 km de presión de roca), hacia la zona de Guri con anfibolitas, granulitas y migmatitas, rocas graníticas, con granate-cordierita-sillimanita (sugiriendo temperaturas de 650ºC-700ºC, presiones de 4 a 7 kbs, equivalente a menos de 20 km de presión de roca). Estas rocas de alto grado metamórfico se interpretan (Mendoza, 2005) como evolucionados primitivos cinturones de rocas verdes (CRV) y complejos graníticos potásicos y sódicos, varias veces tectonizados y metamorfizados hasta alcanzar las facies anfibolita y granulita y

sufrir luego parcialmente metamorfismo retrógrado, registrado en la historia evolutiva de la provincia.

Para algunos autores (por ejemplo, Sidder & Mendoza, 1995), las edades registradas del Paleoproterozoico se relacionan con la edad de gran reactivación e incluso granulitización del protolito y remanentes del basamento Arqueozoico, como sugiere el modelo de Glikson (1976): casi todos los CRV descansas sobre un basamento de anfibolitas y granulitas más antiguas. Imataca tiene sobre él remanentes CRV y gneises tipo Complejo Supamo, de 2,24 Ga (Sidder *et al.*, 1991), indicando CRV-TTG sobre un basamento granulítico más antiguo.

Los datos de gravedad a través del análisis de descomposición de la señal (Figura 16a), sugieren un contraste regional a 30 km de profundidad indicando la inflexión que genera la provincia de Imataca respecto a la Cuenca Oriental de Venezuela, con un cambio composicional importante a 22 km de profundidad que podría corresponder con la discontinuidad de Conrad, y otro cambio composicional importante a 3,5 km de profundidad que podría sugerir el contraste entre las rocas superficiales aflorantes mayoritarias y el basamento granulítico.

Al comparar este resultado con el perfil sísmico que corta a la provincia Imataca en el trabajo de Schmitz *et al.* (2008), se observa que la profundidad atribuida a Mohorovicic en la provincia es de aproximadamente 40 km (Figura 17). También se observa en el mismo perfil una inversión de velocidad a 35 km de profundidad aproximadamente, lo que sugiere que el tope de la capa cortical de mayor velocidad (7,1 m/s) es la causante del resultado obtenido en el espectro de frecuencia. Considerando que ambas técnicas geofísicas, en teoría, son incapaces de resolver estos contrastes de velocidad, se considera que el dato de gravedad concuerda con el sísmico en la interfase de 30 km, y debido a las dimensiones consideradas para el cálculo del espectro de potencia, no alcanzó a registrar longitudes de onda que correspondan con la discontinuidad de Mohorovicic. A su vez, la interfase a 22 km en el perfil sísmico refleja un cambio de velocidad de 6,2 m/s a 6,9 m/s, que representaría un contraste importante de densidad.

Los datos magnéticos sugieren una profundidad cercana a la mencionada inversión de velocidad para el contraste más regional, ubicada a aproximadamente 33,5 km de profundidad, que podría estar relacionado a la Isoterma de Curie. En térmicos magnéticos,

Imataca contiene una variabilidad importante reflejada en los numerosos contrastes promediados, que podrían concordar con rocas sometidas a antiguos y diversos cambios de presión y temperatura (diferentes grados de metamorfismo), complicados sistemas estructurales de corrimiento que amalgaman diferentes litologías alóctonas, o la combinación de ambos factores (Figura 16b). Debido a la resolución que presenta el modelo combinado EMAG2, fuente original de la base de datos de anomalía magnética, su espectro de potencia en la zona no refleja contrastes someros de susceptibilidad magnética.

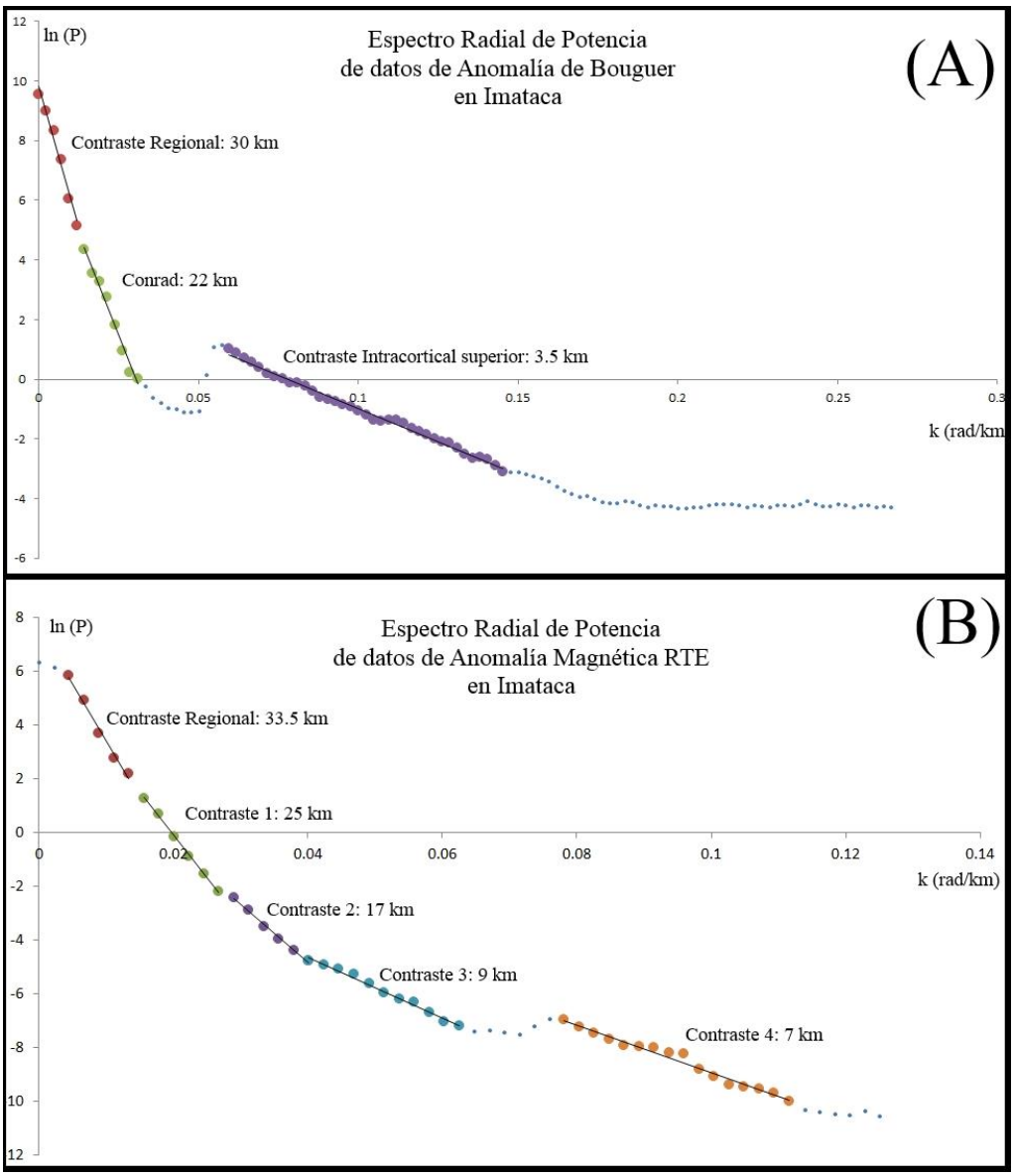


Figura 16. (A) Espectro radial de potencia de Anomalías de Bouguer. (B) Espectro radial de potencia de anomalías magnéticas reducidas al ecuador. En ambos espectros, cada color

representa un contraste promedio de densidad (para gravedad) y susceptibilidad magnética (para magnetismo) en profundidad, mediante la relación que existe entre la longitud de onda de la anomalía y la profundidad de su fuente.

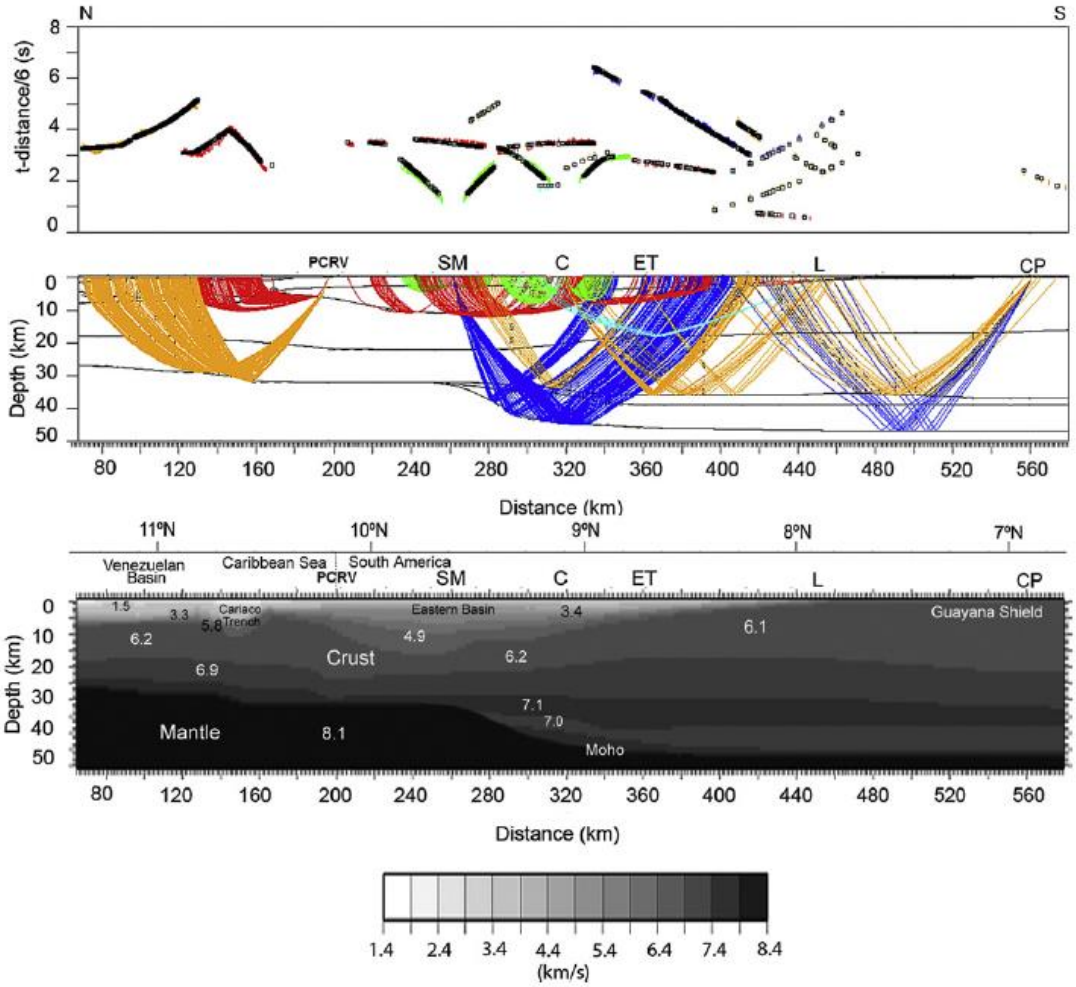


Figura 17. Secciones de datos sísmicos y modelo de trazado de rayos del perfil en Venezuela oriental a lo largo del meridiano 65ºW. Tiempos de viaje observados y calculados en la parte superior, trazado de rayos en el centro y modelo de velocidad en la parte inferior. PCRV: estación sismológica de Puerto La Cruz, SM: punto de tiro San Mateo, C: punto de tiro Cantaura. Rayos desde los puntos de tiro ET: El Tigre, L: Limo y CP: Ciudad Piar corresponden a los datos mostrados en Schmitz *et al.*, (2002 y 2005). El modelo de velocidad resultante indica el incremento de espesor cortical hacia el sur con 50 km aproximadamente, decreciendo a 40 km por debajo de PCRV y un adelgazamiento ligero hacia el Mar Caribe en el norte (Tomado y modificado de Schmitz *et al.*, 2008).

La Figura 18 comprende la geología aflorante en la provincia y su contexto. También se aprecia los principales rasgos estructurales, como la falla de Guri y El Pao. El polígono negro corresponde a la ventana considerada para el conjunto de cálculos y procesos aplicados a los datos para la caracterización de Imataca. Además, con la elección es posible

establecer la configuración que presenta la misma en subsuelo y disposición respecto a las provincias de Pastora y Cuchivero. Esto último es un propósito de la investigación, y consiste en establecer la configuración estructural de cada provincia en correlación con las demás en todo el Escudo.

El mapa de anomalías de Bouguer (Figura 19) muestra que la provincia está delimitada por anomalías de alta magnitud relativa, que van desde -40 mGal a 42 mGal, un intervalo de 80 mGal distribuido en 3 altos relativos de anomalía ubicados en 7°N/64,5°O, 7,8°N/63,7°O y 8,5°N/61,5°O respectivamente. La orientación de la provincia es SO-NE y presenta una curvatura de anomalías en su sección central. Al este, gravimétricamente el contacto con la provincia Pastora es lineal marcado por la falla de Guri hasta el meridiano 63°O. Hacia el oeste, el límite de esta es semi-circular tanto con la provincia Pastora como con la provincia Cuchivero. Ambas provincias limítrofes muestran anomalías de baja magnitud respecto a Imataca, desde -40 mGal a -96 mGal. Los máximos gradientes se ubican en los contactos entre las provincias, principalmente donde el sistema estructural está bien definido. Hacia el norte, la influencia de la flexión de la Cuenca Oriental hace que la anomalía disminuya en magnitud, excepto en la parte occidental, donde parece indicar que esta provincia se extiende cerca de la superficie.

En este mapa es evidente la heterogeneidad de la provincia, tanto en su aspecto composicional como estructural. Las anomalías al este presentan alineaciones casi paralelas a las fallas principales, pero desde el meridiano 63°O hacia el oeste, esta configuración cambia totalmente y las anomalías son semi circulares, separadas por estructuras que van en dirección NO-SE, haciéndose más evidentes al aproximarse al Grupo Caicara y posteriormente a Cuchivero. Al comparar estas respuestas con el mapa geológico resalta el hecho de que, entre los meridianos 63°O y 64°O, el alto de gravedad observado se ubica sobre los conjuntos intrusivos silíceos y migmatitas, que constituyen las rocas más antiguas del Arqueozoico. En el máximo ubicado cerca al meridiano 65°O ocurre de similar manera. Esto conlleva a sugerir que las rocas más antiguas son las responsables de las mayores anomalías de la provincia. Para el máximo ubicado en la sección oriental (61,5°O) se tiene que observar los resultados de las técnicas de estimación de fuentes para ver si existe allí algún indicio similar no-aflorante.

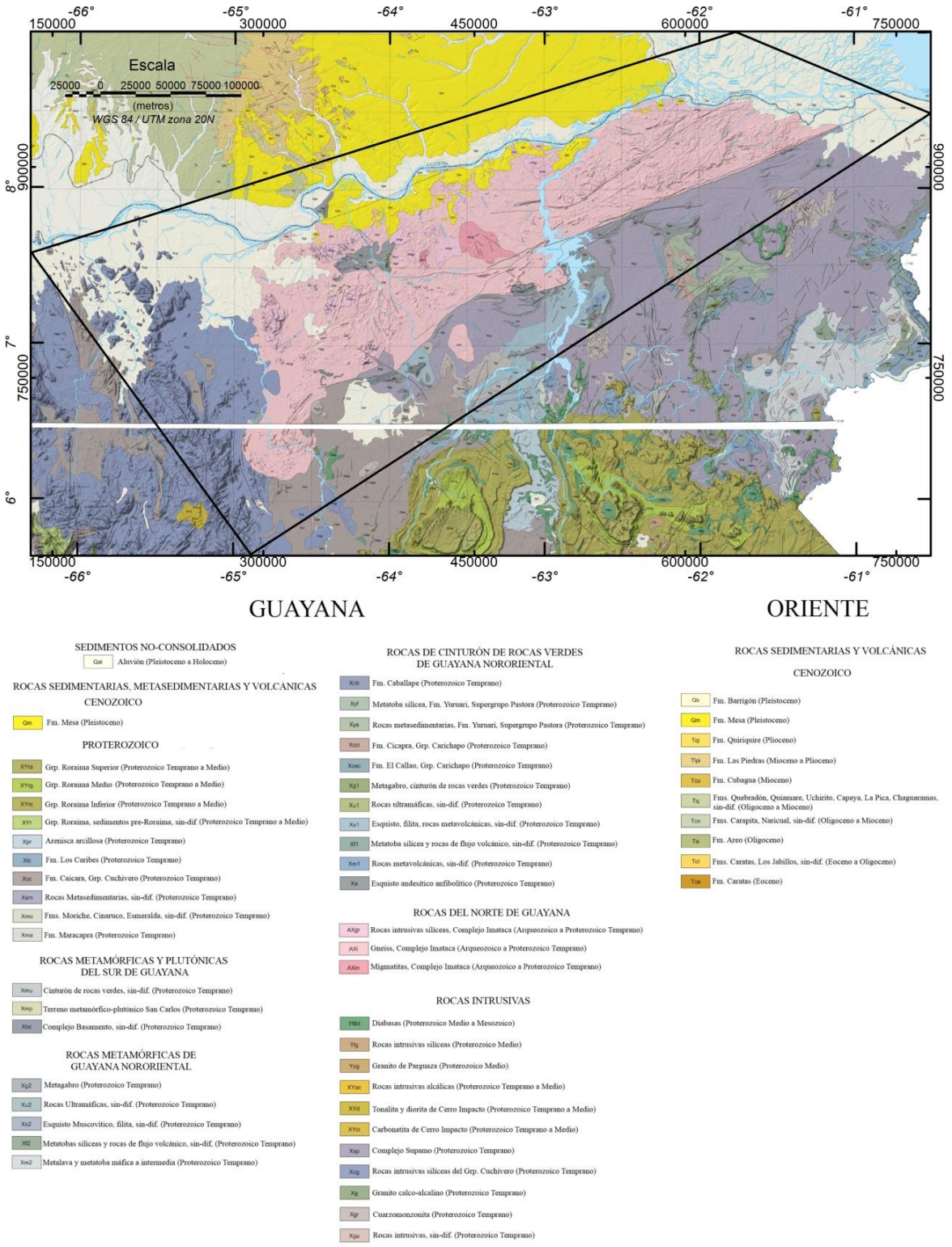


Figura 18. Mapa geológico de Imataca. Polígono negro: área para caracterización de la provincia Imataca. Tomado y modificado de Hackley *et al.*, (2005).

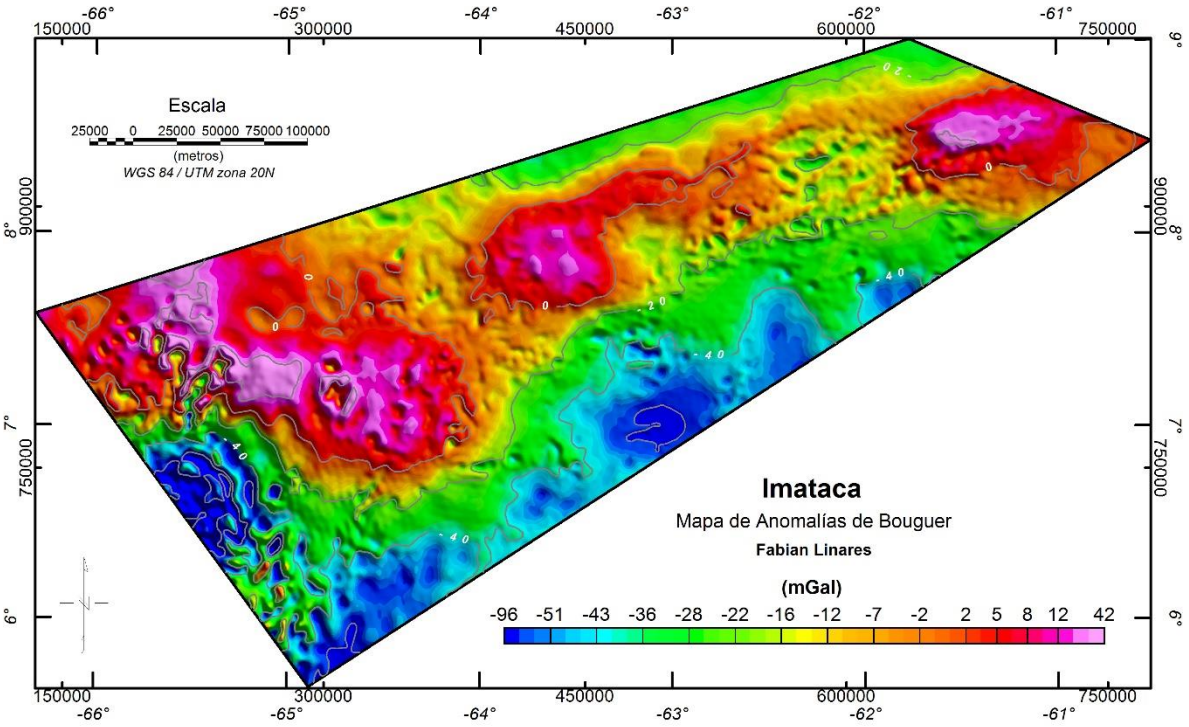


Figura 19. Mapa de anomalías de Bouguer de Imataca, modelo EIGEN-6c4.

La región entre los meridianos 62°O y 63°O, se encuentra fuertemente influenciada por las fallas de Guri y El Pao, y sugiere ser una zona estructuralmente compleja, ya que los contrastes de anomalías son relativamente bajos respecto a los otros y de disposición aleatoria.

El análisis de los datos magnéticos debe hacerse en dos estadios, primero se observan las anomalías directamente calculadas del modelo, y posteriormente se analizan las mismas anomalías después de ser aplicada la reducción al ecuador. Esta técnica matemática permite reubicar la posición de las anomalías sobre su(s) fuente(s). La Figura 20 corresponde a la primera de estas.

Este mapa, al modelo original ser de baja resolución, muestra tendencias o fuentes principalmente regionales o de amplia extensión. Es por ello por lo que Imataca presenta básicamente 2 anomalías de muy baja magnitud. La primera ocupa la mayor extensión y alcanza los -683 nT, la segunda mucho más pequeña ubicada en 7,2°N/64,4°O alcanza aproximadamente -400 nT. El dato magnético en esta provincia ha sido objeto de estudio por el fuerte interés económico que la reviste en numerosas investigaciones, pero estos estudios se enfocan en adquisiciones aerotransportadas de mayor resolución, donde la

variabilidad es mucho mejor apreciada. Tras la aplicación de la reducción al ecuador (Figura 21), ambas anomalías se unen en tendencia y disminuyen su amplitud a -575 nT y a -250 nT respectivamente, siendo estos los contrastes más altos de toda Venezuela. Esto indica que debido a la posición geográfica de la región (cercana al ecuador), estas anomalías presentan una fuerte influencia de la inclinación del campo magnético. La frontera, que muestra un alto gradiente alcanzando los 600 nT, a pesar de estar fuertemente influenciada por lo estructural, sugiere que principalmente puede ser una diferencia composicional a gran profundidad. Las rocas graníticas o granulíticas silíceas suelen tener bajas susceptibilidades magnéticas, y por ello, los contrastes con rocas máficas son diferenciables.

Los cambios que se observan respecto a las magnitudes a lo largo de la misma provincia podrían indicar la variabilidad en profundidad de los espesores de las fuentes, siendo más profundas hacia el centro y occidente de esta, o que la roca coja presenta unas características magnéticas que potencian el contraste. Debido a la ausencia de datos hacia su frontera con Cuchivero, no es posible diferenciar las características magnéticas del contacto. Sin embargo, por la disposición de las anomalías envolventes positivas, hacia el norte, o la provincia es de menor espesor en la faja petrolífera o en efecto su dimensión se limita a lo observado en superficie.

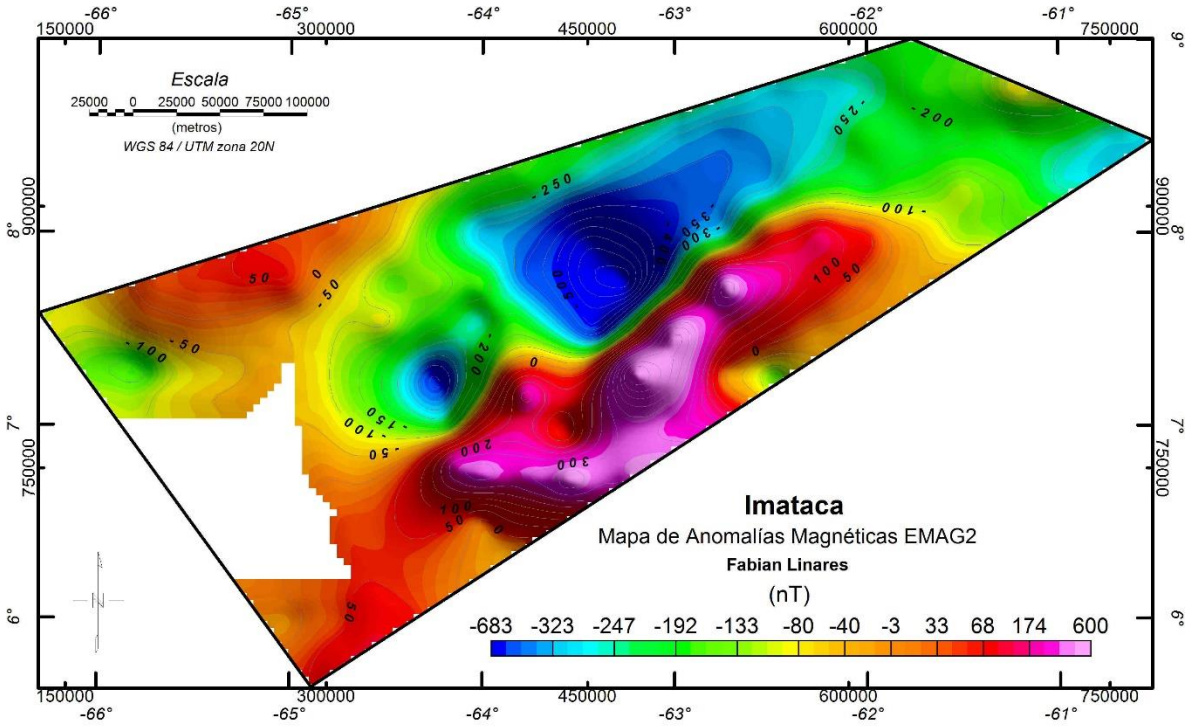


Figura 20. Mapa de anomalía magnética, modelo EMAG2.

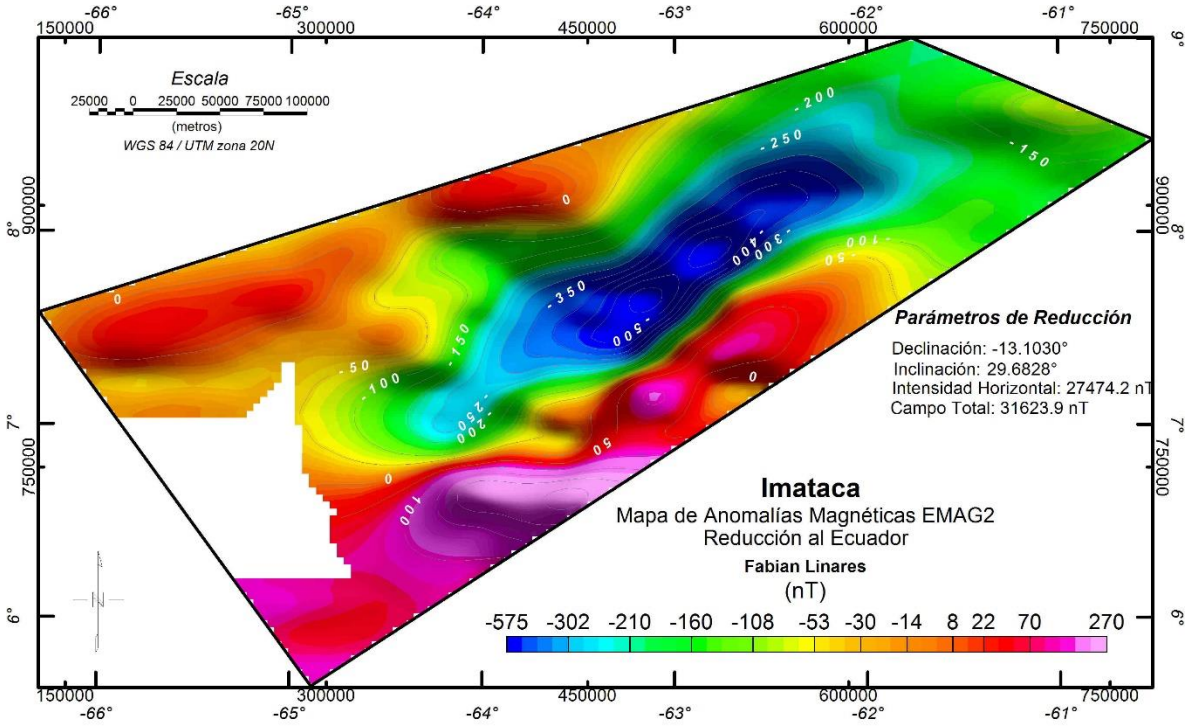


Figura 21. Mapa de anomalía magnética reducida al ecuador, modelo EMAG2.

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL

La separación de las anomalías que representan fuentes profundas de las que representan fuentes intermedias a someras constituye una herramienta para delimitar los rasgos característicos de una región, pudiendo discriminar sus dimensiones y efecto sobre el campo total medido. Tradicionalmente este procedimiento se llevó a cabo mediante el cálculo de tendencias polinómicas, buscando el grado del polinomio que mejor representa la estructura regional de la zona. Actualmente, debido a las grandes dimensiones del área y su complejidad composicional y estructural, el análisis de la señal es la herramienta más utilizada para llevar a cabo la separación, al poder discriminar los diferentes intervalos de profundidad de las fuentes por sus longitudes de onda. Para ello se calcula el espectro radial de potencia y se aplican filtros paso-banda (*bandpass filtering*). Las mayores longitudes de onda representan usualmente cuerpos profundos y/o de grandes dimensiones, mientras las longitudes de onda corta suelen ser causadas por fuentes someras y/o pequeñas.

Las Figura 22 y Figura 24 representan este filtrado regional y residual respectivamente para los datos de gravedad. A través del espectro de potencia (Figura 16a) del mapa de la Figura 19 se estima que las fuentes regionales presentan números de onda (k) entre 0 rad/km y 0,015 rad/km, que consisten en longitudes de onda (λ) mayores a 70 km. La profundidad atribuida a estas fuentes compone la corteza inferior y su transición al manto. Con la misma herramienta se calcula el mapa residual entre números de onda de 0,015 rad/km y 0,2 rad/km, que corresponde al intervalo de longitudes de onda entre 70 km y 5 km. Longitudes menores a 5 km son consideradas en otros procesos y análisis posteriores, pero a efectos del mapa residual fue considerado ruido de la señal.

El mapa regional (Figura 22) muestra que los análisis realizados en el mapa de anomalías de Bouguer respecto a la variabilidad estructural de la provincia, alcanzan niveles de profundidad de corteza inferior, donde se puede observar un conjunto de paleo-cratones amalgamados, cuya orientación de sutura es N70ºO aproximadamente, acomodados en un sistema de fallamiento que concuerda con la falla de Guri. La frontera que marca esta falla en profundidad no parece ser tan lineal como se representa en superficie, siendo en profundad curva. La prolongación de este contacto hacia el occidente parece ser evidente en la provincia, siendo en oriente la frontera entre Imataca y Supamo, y hacia occidente entre

Imataca y Caicara. Es de acotar que, a estas profundidades, Imataca parece prolongarse hacia el norte en su sección occidental. Si el resto de la provincia se prolonga hacia la cuenca Oriental de Venezuela, por los altos gradientes observados se puede inducir que su prolongación se encuentra fuertemente flexada, adelgazada y quizás fallada.

El contraste en términos de densidad de Imataca respecto a su entorno es muy marcado, debido a la composición, textura, mineralogía metamórfica y grado de compresión de sus rocas. Las observaciones concuerdan con lo propuesto por Mendoza (1974) para la evolución de la provincia, donde se propone la orogénesis Guriense (>3,4 Ga) donde se formaron inicialmente primitivos Cinturones de Rocas Verdes y de Tonalita-Trondhjemita-Granodiorita (CRV-TTG) y que posteriormente, durante la orogénesis pre-transamazónica o Aroensis (2,96 Ga – 2,85 Ga), estos cinturones móviles se aglutinaron (*collage*) formando un gran supercontinente denominado por Mason *et al.* (1995) como Guayanesis o Kenorano, o como Valvaara denominado por Condie & Sloan (1998) hacia 2,5 Ga (Figura 23). Durante este proceso ocurre la anfibolitización, granulitización y migmatización de las rocas. Todo ello concuerda con el mapa de anomalías regionales, donde se aprecia a diferentes bloques cabalgados limitados al sureste por la falla de Guri, que parece haber sido el riel conductor que permitió el movimiento transcurrente en un sistema de compresión oblicua.

En la Figura 22 se colocan todas las observaciones anteriormente mencionadas sobre las zonas donde posiblemente se encuentran en contacto diferentes bloques a nivel cortical profundo. El contacto más occidental podría ser deformado u originado durante la posterior colisión o intrusión de Cuchivero. Hacia Pastora, al sur de la falla de Guri, se pueden observar ligeras prolongaciones desplazadas de estos paleo-sistemas estructurales, que quizás tuvieron influencia durante la apertura del océano de Pastora durante la orogénesis Transamazónica.

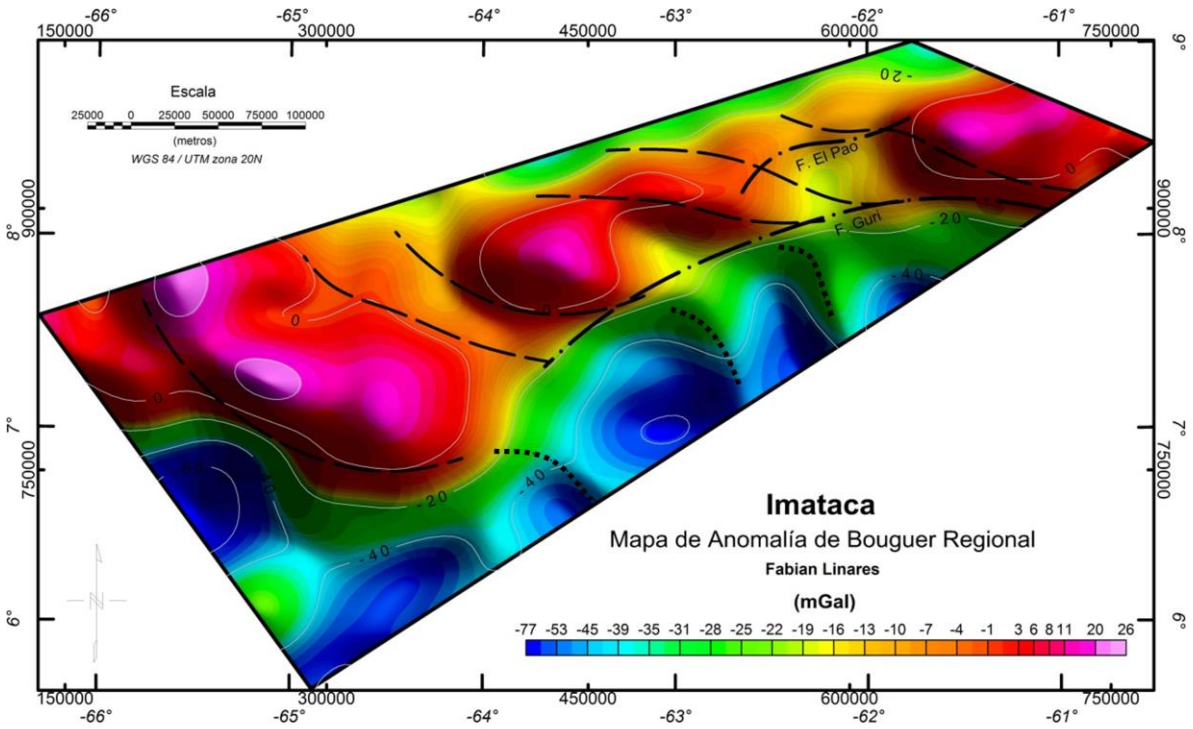


Figura 22. Mapa de anomalía de Bouguer regional (F: falla). Lineas de guión-punto: fallas principales; líneas de guiones: interpretación de zonas de compresión; linea de puntos: posible extensión a nivel cortical de las estructuras de Imataca hacia Pastora.

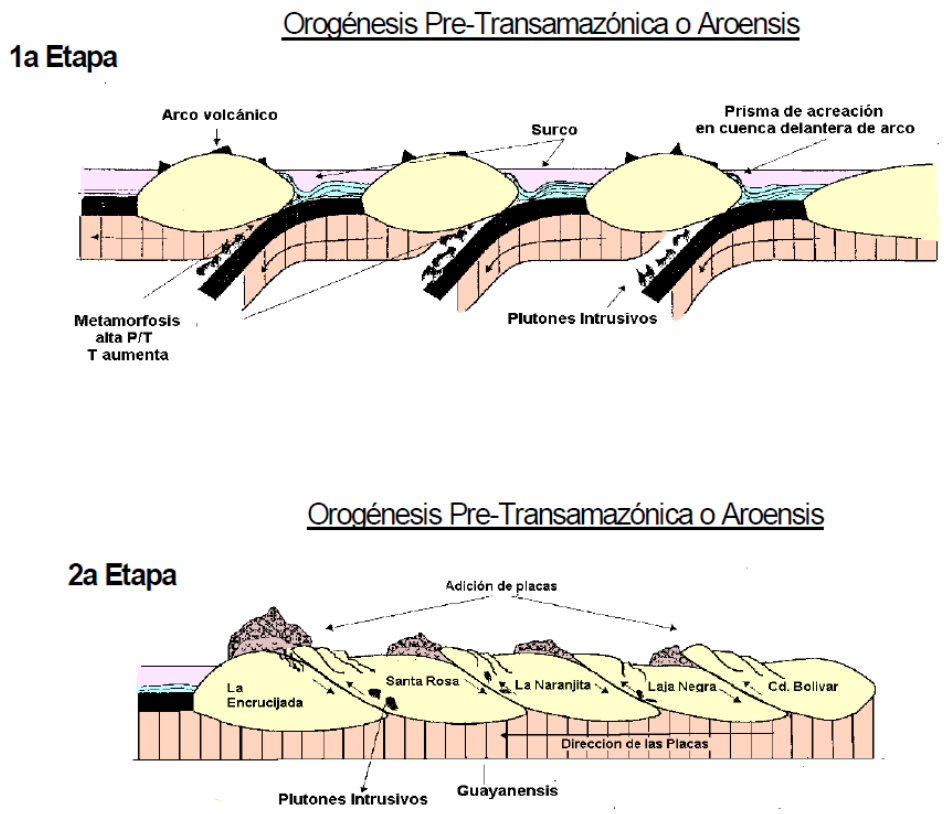


Figura 23. Evolución geodinámica de Imataca (Mendoza, 2005). 1era Etapa: compresión entre placas oceánicas con cambio de subducción a la izquierda y, 2da Etapa: sucesiva sobre-posición o aglutinación de los arcos o micro-continentes formando parte del supercontinente Guayanensis o Valvaara o Kenorano.

La Figura 24 constituye el mapa de anomalía de Bouguer residual, donde se puede apreciar además las diferentes litologías y rasgos tectónicos que componen la provincia. El contraste en amplitud y orientación de las anomalías entre Cuchivero e Imataca es evidente por el meridiano 65ºO, siendo la parte de Cuchivero influenciada por el conjunto de fallas orientadas NO-SE, donde se observa que a nivel intermedio-somero las rocas presentan lineamientos que pudieron ser originados durante la colisión entre ambas provincias. En este caso, el río Caura es un buen indicador de la ubicación aproximada de esta sutura, aunque no es precisa. Los límites que denotan la extensión superficial de Imataca están identificados con un conjunto de anomalías de mediana-alta magnitud, aun cuando es muy probable que la provincia se extienda en subsuelo hacia el norte. La variabilidad litológica y estructural parece ser mucho más amplia que lo sugerido a través de la observación superficial de la geología.

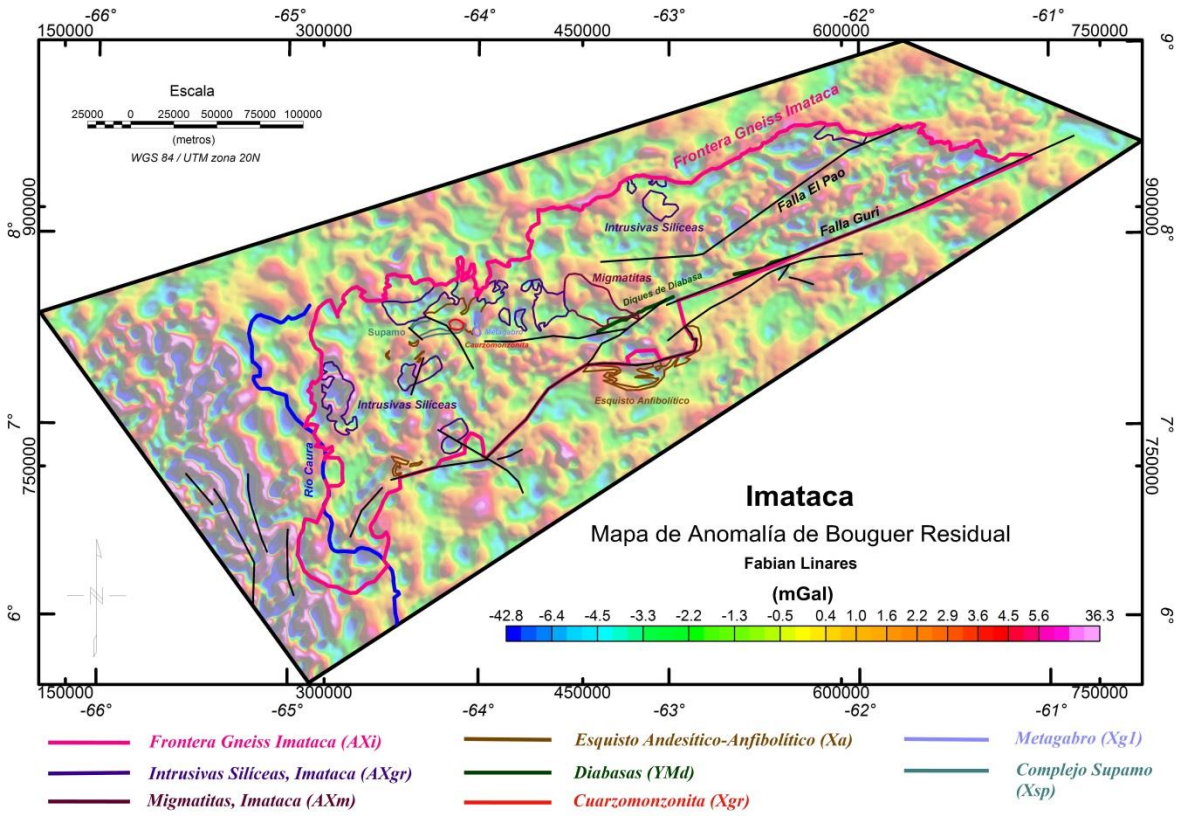


Figura 24. Mapa de anomalía de Bouguer residual.

Los dominios correspondientes a los sistemas de fallas principales se encuentran caracterizados por longitudes de onda corta, fungiendo a su vez de contacto entre diferentes litologías. La región oriental de la provincia, donde se encuentran relativamente paralelas las fallas de El Pao y Guri, el conjunto de anomalías incrementa su variabilidad a medida que decrecen sus longitudes de onda. Considerando que el metamorfismo registrado en las rocas decrece de N-NE a S-SO (Figura 25), los datos parecen responder a esta diferenciación, con sistemas de anomalías algo paralelas a los sistemas de falla, pero que no siguen fielmente estos lineamientos. Es la región de la provincia donde se presenta la mayor cantidad de anomalías de onda corta, y es probablemente a su vez donde menor espesor cortical la misma contiene y mayor influencia tectónica somera.

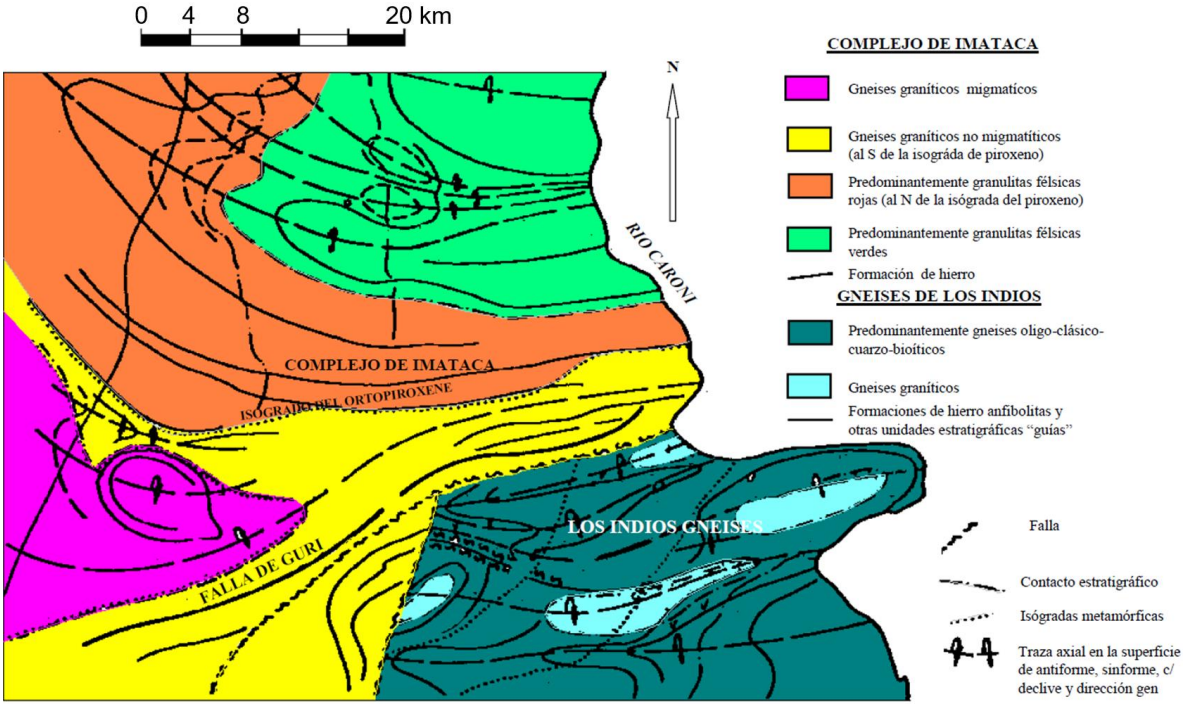


Figura 25. Mapa geológico esquemático del Complejo Imataca al oeste del río Caroní, Dougan (1974).

En términos generales, en esta provincia, las intrusiones silíceas suelen presentar anomalías de magnitud negativa rodeadas de anomalías circulares positivas. Esto se debe a que estas rocas poseen menor densidad que la roca caja profunda, y que además posiblemente tienen una extensión sub-vertical importante en profundidad, lo que explicaría esta conducta. Además, estas rocas han sido más resistentes a la meteorización, debido a que donde las mismas afloran existe relieve marcado. En las localidades donde existe la intrusión por reconocimiento superficial pero las anomalías no presentan una respuesta tan marcada y evidente, es debido a que depende tanto de las dimensiones del cuerpo, su extensión en profundidad, diferencia composicional respecto a la roca caja y resolución del dato geofísico. Un ejemplo de ello ocurre en 8ºN/63ºO, donde se reconocen las intrusiones en superficie, pero la respuesta de gravedad no es la característica, al contrario que en las ubicadas en 7,2ºN/64,8ºO o en 6,8ºN/64,2ºO donde todo concuerda. Esta última es tan evidente, que la falla que corta a la intrusión desplaza ligeramente la anomalía. Similarmente también ocurre en 7,3ºN/64,4ºO, pero el desplazamiento es más modesto.

La zona más interesante y compleja se encuentra entre 65ºO y 63ºO, alrededor de la latitud 7,6ºN. En esta zona existen migmatitas, metagabros, partes del Complejo Supamo,

cuarzomonzonita, diabasas, entre otras, todas en interacción y con ciertas configuraciones de posición y extensión relacionadas posiblemente a las paleo-estructuras existentes (Figura 26) mencionadas durante el análisis del mapa regional. Estas estructuras tectónicas permitieron o facilitaron que este conjunto de rocas tuviese la ubicación que hoy en día presentan. Limitada por un sistema de falla en dirección E-O que parece ser relevo o derivación de la falla Guri. Es de notar la peculiar forma que presenta el límite de la provincia en el Guri, producto posiblemente de la naturaleza transcurrente-compresiva de la falla homónima, estando este sector en Pastora rodeado de esquisto andesítico-anfibolítico, casi siempre siguiendo el contorno del Complejo Imataca.

Las dataciones realizadas y compiladas en la Figura 27 al protolito en las diversas secciones de Imataca por medio del decaimiento Sm-Nd tienen la ventaja de teóricamente no ser susceptibles a separarse durante el posible refundido de las rocas silicatadas que componen la provincia durante sus procesos de metamorfismo, además de ser una técnica favorable a la datación de material ígneo. Gran parte de estas dataciones manifiestan edad Arqueozoico, pero es de acotar que los protolitos más antiguos se encuentran en las secciones centro-norte y en granitoides. Estos argumentos justifican el contraste positivo de la provincia respecto a las otras litologías colindantes.

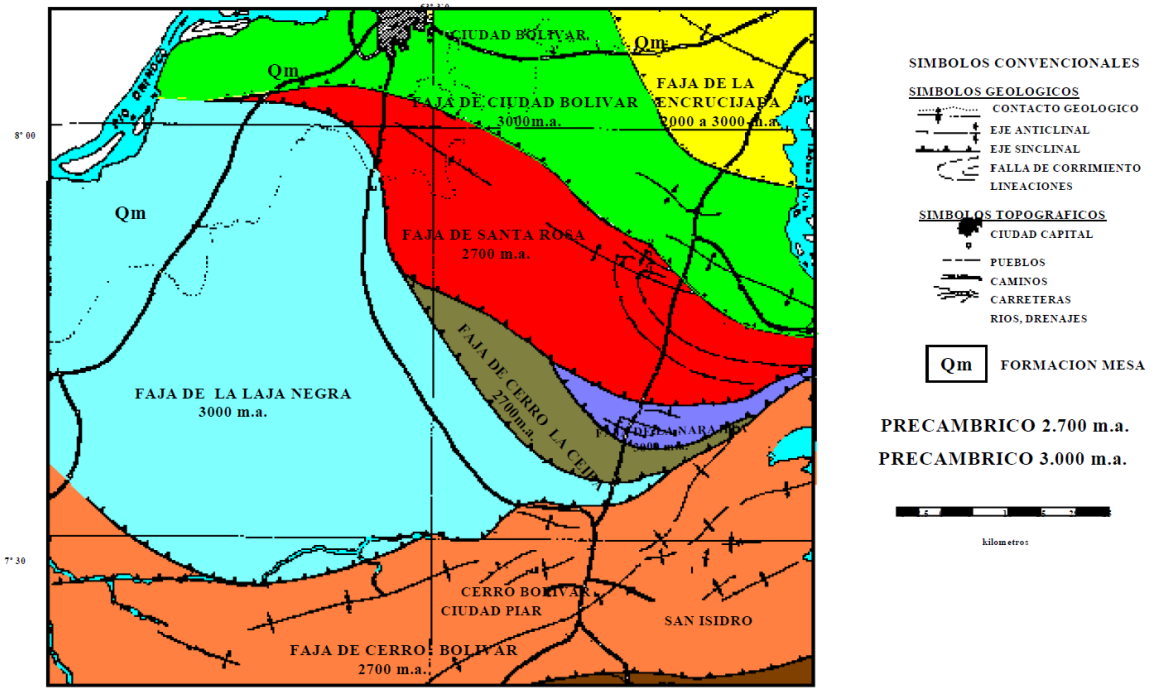


Figura 26. Complejo de Imataca en los alrededores de Cerro Bolívar. Simplificado por Mendoza *et al.* (2019) desde Ascanio (1975).

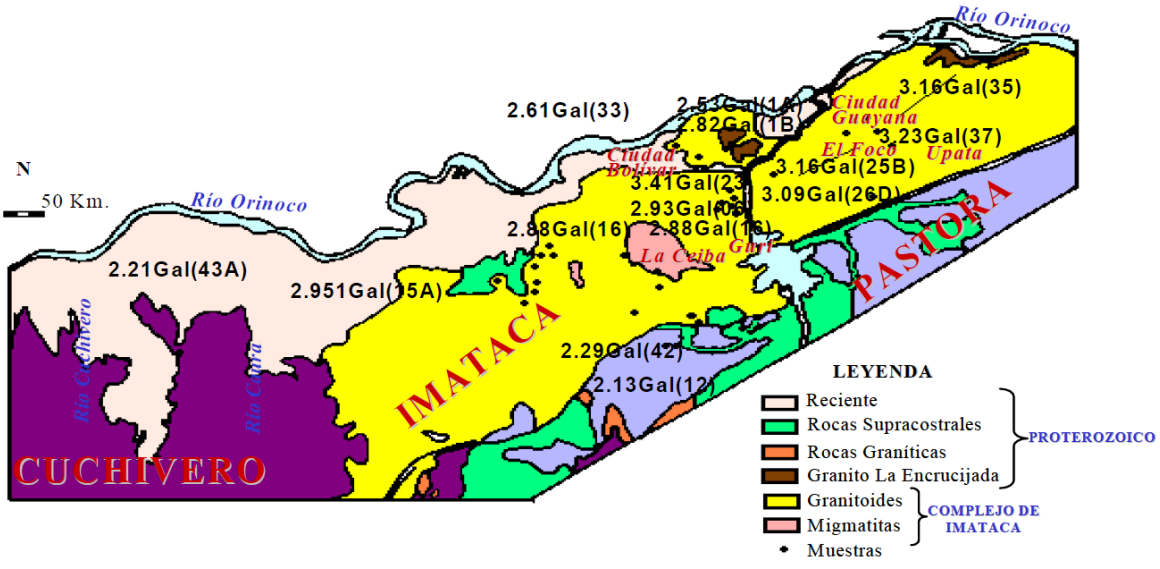


Figura 27. Edades Sm-Nd del protolito en el Complejo Imataca, Teixeira *et al.* (2000).

SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT

La técnica de Señal Analítica consiste en estimar la raíz cuadrada de la suma de las derivadas al cuadrado en las tres direcciones (X, Y, Z), lo que permite interpretar principalmente cambios abruptos de litología, principalmente derivados de tectonismo. En la Figura 28 se puede ver el mapa resultante de la aplicación de esta técnica junto a los principales sistemas de falla, los sistemas de corrimiento o límites de fajas tectónicas propuestas por Ascanio (1975), el límite observado superficial de Imataca y conjunto de lineamientos tectónicos interpretados sobre este mapa. Estos últimos corresponden a las líneas de guiones, y representan la continuidad del sistema compresivo imperante hacia el occidente de la provincia.

La sección oriental del mapa, que conforma la zona donde se observan las fallas Guri y El Pao, infiere un sistema predominante transcurrente debido a que las anomalías allí presentan orientaciones acordes a estas estructuras. Sin embargo, la región central y occidental de la provincia presenta una configuración tectónica que cambia a dirección NO-SE, con un conjunto de anomalías de alto gradiente donde el autor mencionado propone los límites de las fajas tectónicas. Continuando con la idea representada en la Figura 26, existen un conjunto de gradientes fuera de su ventana de estudio que sugieren la continuidad del patrón tectónico más allá de la Faja Laja Negra, que en algunos casos concuerdan con algunos sistemas de falla mapeados en superficie.

Al comparar estos resultados junto a las figuras previas (principalmente Figura 26 y Figura 27), donde se observa que las provincias aumentan en edad de protolito hacia el noreste, se contemplan dos posibilidades:

a) Al momento de colisión de los micro-continentes existía cierta restricción de movilidad al oeste de Imataca, donde las provincias de menor edad se iban aglutinando mientras se adicionaban otras nuevas con protolitos más antiguos.
b) Las fajas de mayor edad de protolito presentaban mayor velocidad relativa a las de menor edad y por ende las colisiones pudieron comenzar en el Este de la provincia, donde los micro-continentes de mayor edad se llevaron todo a su paso, adicionando continuamente los más jóvenes relativamente estáticos.

La cinta transportadora que permitió el deslizamiento transcurrente podría coincidir con la falla de Guri, y el proceso podría ubicarse entre 2,96 Ga y 2,85 Ga. Posterior a ello, cuando los microcontinentes estaban aún en reacomodo, el supercontinente Guayanesis se rompe hacia 2,4 Ga – 2,3 Ga, aumentando la actividad magmática que permitió intrusiones basálticas y anarogénicas en Imataca, y formando el océano de Pastora y el CRV y TTG de Supamo. Cuando este océano se cierra estos cinturones colisionan, cambiando el régimen tectónico, y es donde posiblemente la falla de Guri adquiere curvatura en profundidad y se quiebra en su sección central, permitiendo cierto pivote en el centro de Imataca hacia 2,3 Ga a 1,95 Ga, aglutinándose ambas provincias en el nuevo supercontinente Atlántica.

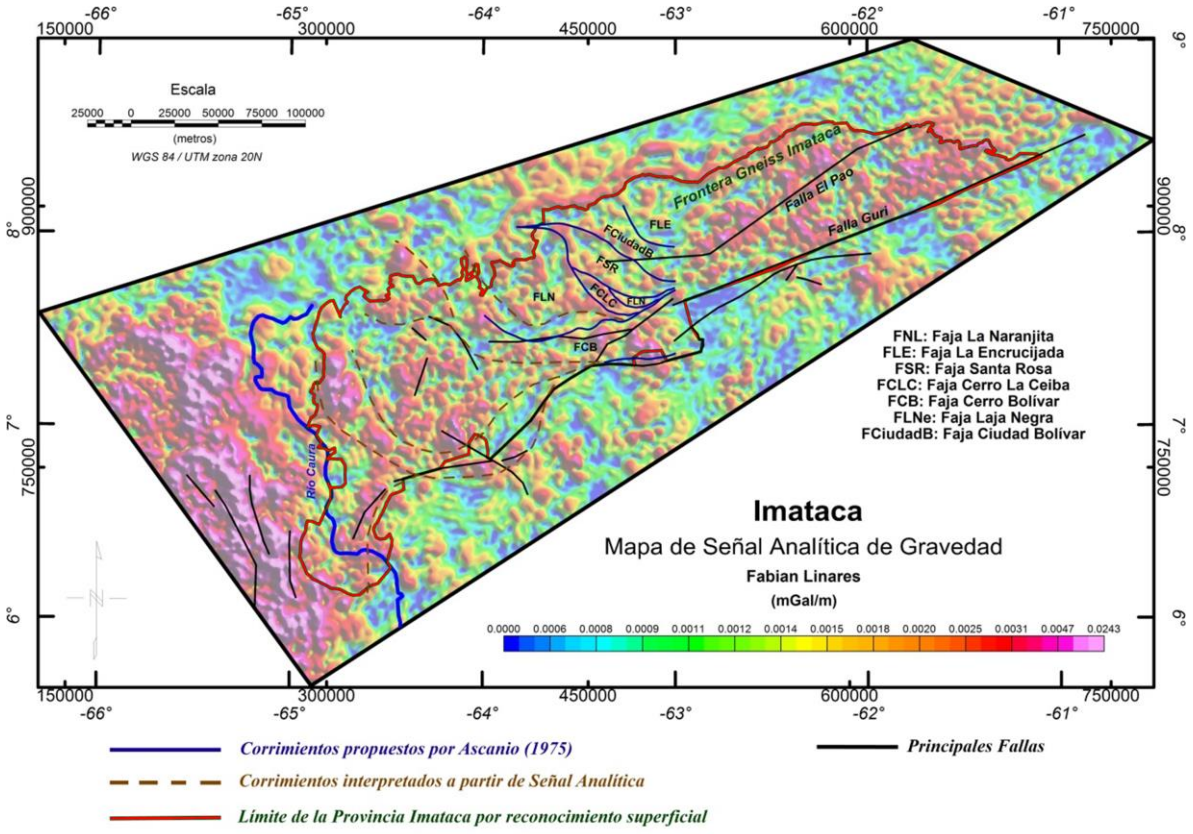


Figura 28. Mapa de señal analítica de datos de gravedad.

En el mapa de derivada Tilt, esta característica de pivote en la región central de Imataca es mejor apreciada, donde se tiene una orientación predominante en oriente y otra en occidente. La sección de cambio encerrada en el círculo blanco de la Figura 29 presenta un

conjunto de fajas triangulares vistas en la Figura 28 (como la Faja Laja Negra) cuya disposición podría ser consecuencia de esta tectónica.

La herramienta de derivada Tilt es muy favorable a los cambios de densidad para mapear estructuras someras, sin importar sus amplitudes de gradiente. Tiene la propiedad de dar como resultado ángulos positivos sobre las fuentes, ángulos cercanos a cero (0) en los bordes de los cuerpos sub-verticales, y ángulos negativos fuera de la fuente. Su resultado como se aprecia concuerda que, a niveles de profundidad someros, el límite de la provincia es el mostrado en el mapa geológico, y que los patrones de disposición de las estructuras cambian a lo largo de Imataca, siendo en la frontera con Cuchivero totalmente discordantes.

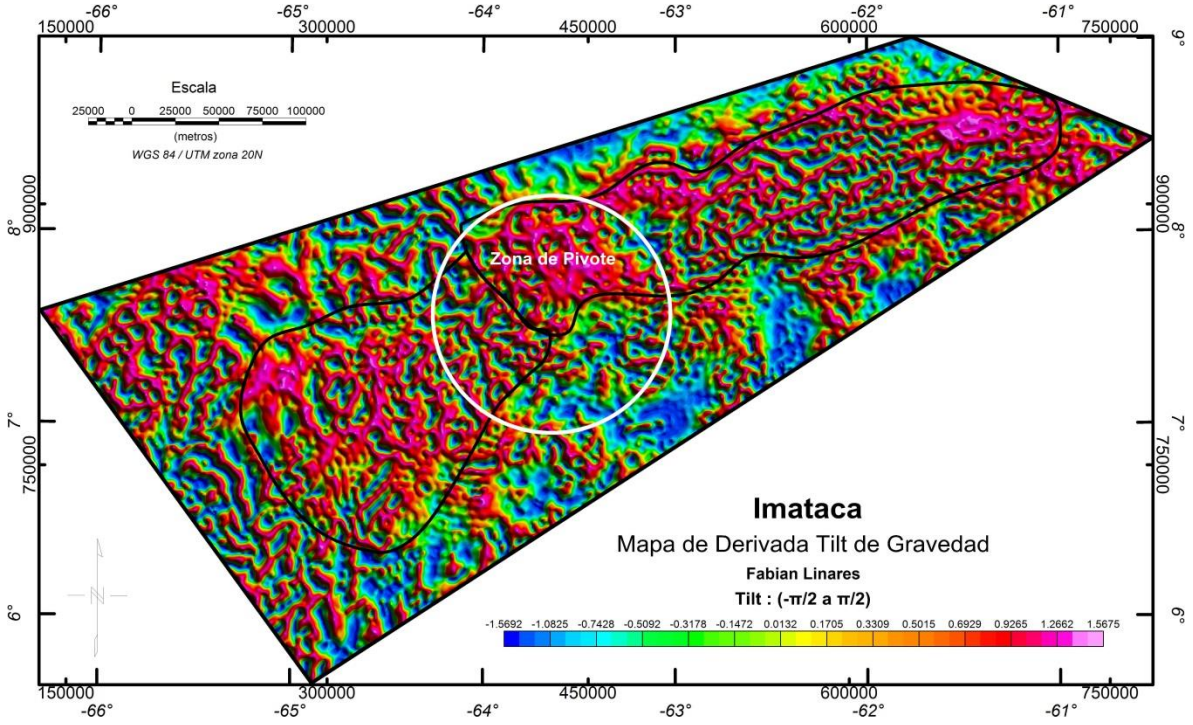


Figura 29. Mapa de derivada Tilt de gravedad. Línea negra engloba los ángulos que corresponden a la Provincia de Imataca. Se observa que se presentan dos dominios de tendencia de soluciones de ángulo de inclinación, separados por la zona de pivote. La zona del Este presenta tendencia de lineamientos, mientras que la zona del Oeste los resultados son relativamente aleatorios, aunque se pueden identificar algunos patrones.

En la Figura 30 la diferencia composicional entre las provincias es altamente marcado, donde los sistemas de fallas delimitan estos cambios como zonas de inflexión. Debido a la resolución de este modelo magnético, las características que se observan son intracorticales intermedias a profundas (recordar Figura 16b).

Se observa que concuerda la conducta tectónica inferida a través del mapa regional de gravedad del aglutinamiento de microcontinentes, y la posible prolongación de estos sistemas hacia lo más profundo de Pastora, también presente en el mapa de gravedad, pero con muy baja intensidad. Estas rocas al estar cerca de estos sistemas tectónicos, donde se tiene la influencia de rocas del CRV e intrusiones máficas, presentan los mayores gradientes. Si se compara la misma respecto a la derivada Tilt magnética de la misma zona (Figura 31) se observa también el pivote previamente presentado que genera una discontinuidad en la dirección de las anomalías desde el meridiano 63,5ºO hacia occidente, donde se observa una zona triangular de forma y dimensión similar a las fajas tectónicas descritas en conjunto. Lamentablemente el modelo no contiene información hacia el contacto entre Imataca y Cuchivero.

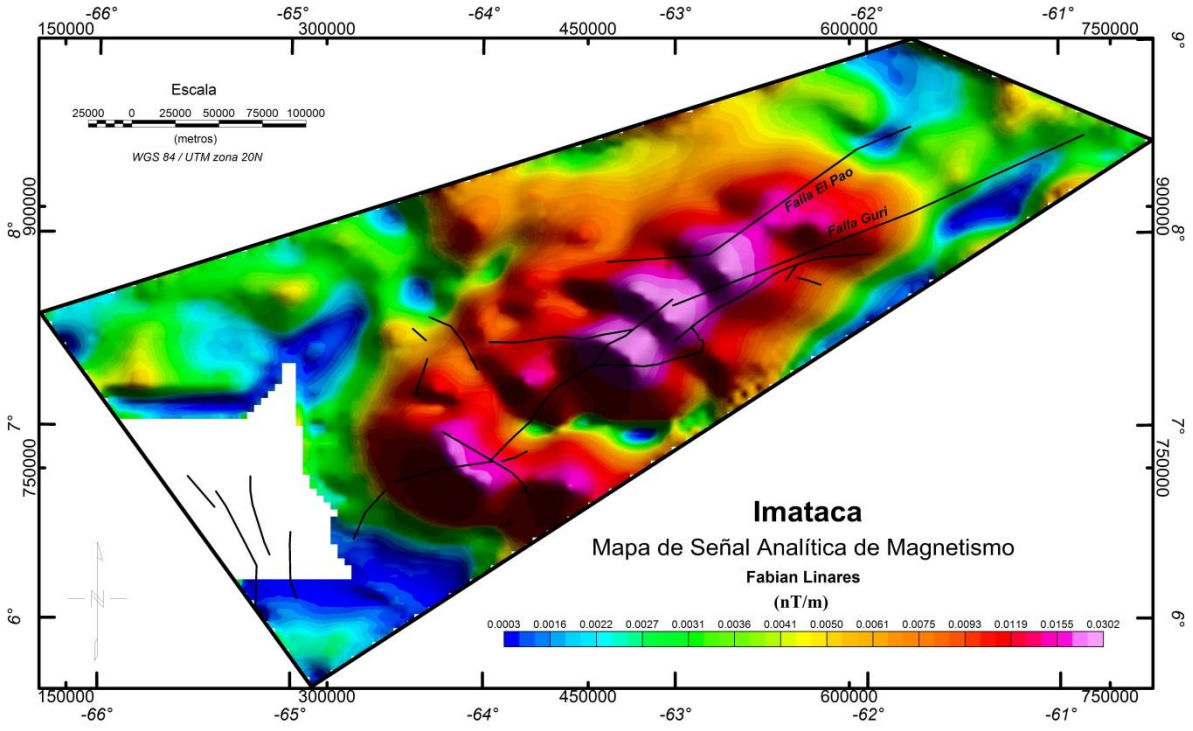


Figura 30. Mapa de señal analítica de magnetismo.

La respuesta en el mapa de derivada Tilt es acorde a la composición mayoritaria de Imataca que, siendo rocas principalmente félsicas, pueden presentar bajas susceptibilidades magnéticas, y por ende el ángulo resultante es negativo hacia donde las mismas se encuentran.

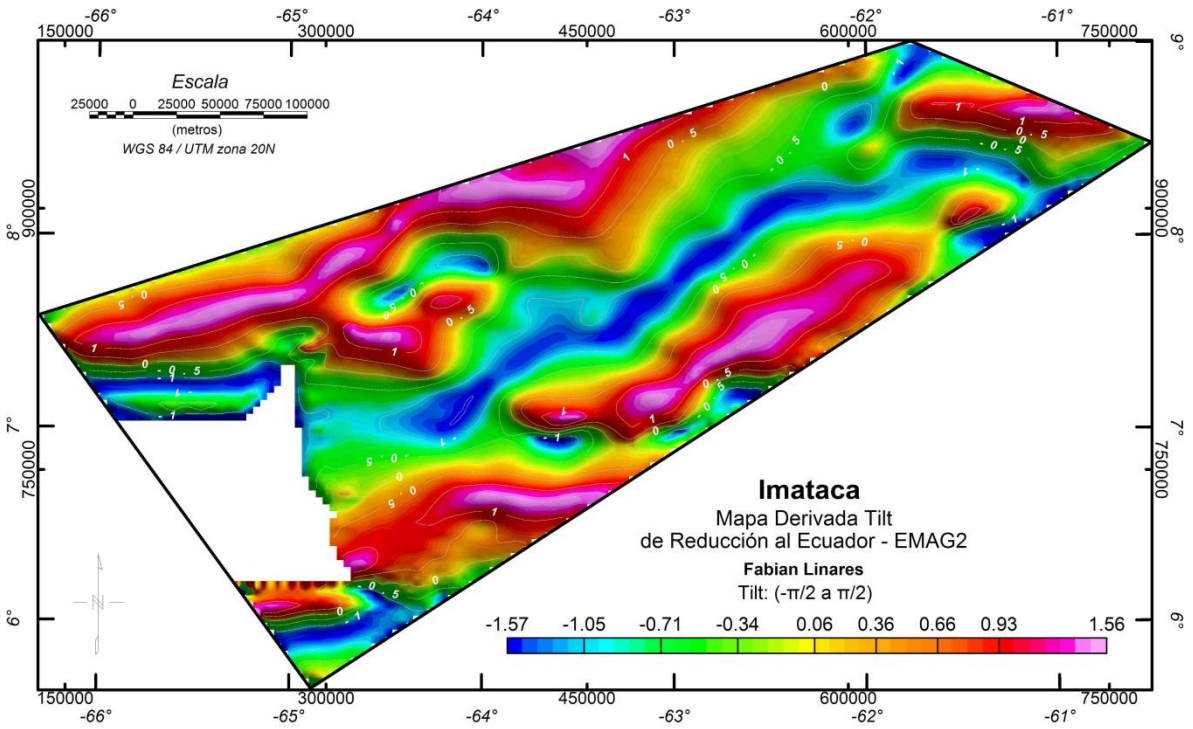


Figura 31. Mapa de derivada Tilt de datos magnéticos reducidos al ecuador.

DERIVADAS DIRECCIONALES

Las derivadas consisten en operadores matemáticos que realzan los gradientes presentes en el mapa de anomalías, dependiendo de la dirección aplicada, realza los gradientes en un sentido u otro. Por ende, cuando se aplica derivada horizontal (que es la ponderación de las derivadas en direcciones X y Y) se enfatiza en las respuestas originadas por fuentes que suponen respuestas acordes con estructuras sub-verticales. El resultado de esta técnica se aprecia en la Figura 32, la cual comprueba el conjunto de límites estructurales y composicionales previamente descritos. A partir de este mapa se podría sugerir la división general de Imataca en 3 regiones, cada una de ellas conteniendo a su vez sectores con diferentes sistemas estructurales.

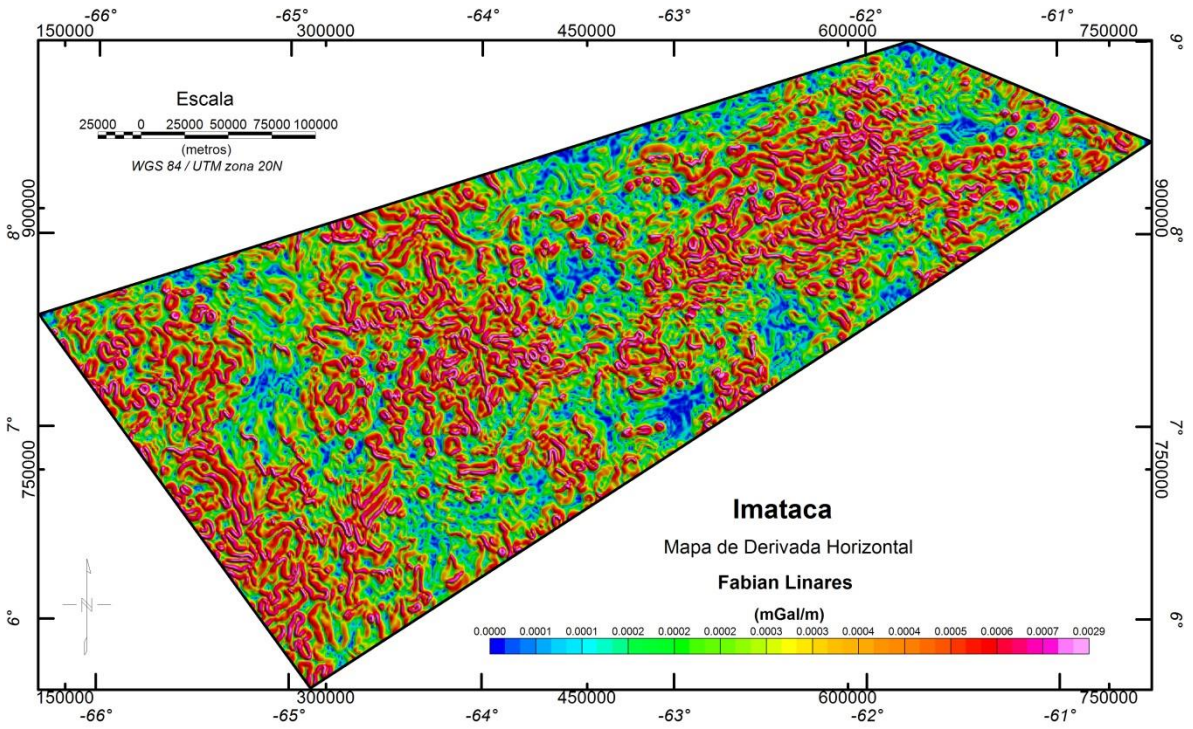


Figura 32. Mapa de derivada horizontal de gravedad.

Anteriormente se menciona que se podían observar a partir del meridiano 63ºO aproximadamente un conjunto de fajas tectónicas, y que hacia el este de este meridiano el patrón estructural era diferente. A partir de este mapa las zonas de cambio de signo de anomalía, es decir gradiente igual a cero (0), se discierne entre estos 3 grupos bien diferenciados en la provincia. Al menos a niveles intermedios a superficiales, el primer grupo (Grupo 1) concentra la geología descrita desde el meridiano 63ºO hacia el Este, donde las estructuras son sub-paralelas a las fallas Guri y El Pao; el segundo (Grupo 2) comprende la región central, que en este mapa funge de divisoria entre la provincia oriental y la occidental, mencionado anteriormente como zona de pivote, por el cambio estructural que representa la zona en discordancia principalmente a la región oriental y a la posible función de bisagra que cumple durante el reacomodo de las fajas cuando colisiona con Pastora; el último grupo (Grupo 3) constituye a la geología presente desde el meridiano 64ºO hacia el Oeste, continuando de cierta manera con la morfología del patrón estructural, pero con características geofísicas diferentes. Este mapa en especial marca una frontera entre Imataca y Cuchivero alrededor del meridiano 65ºO desde el Norte hasta el paralelo

7ºN. A partir de esta locación, la frontera cambia de orientación, anexando el brazo sur de Imataca que es atravesado por el curso del río Caura.

La derivada vertical (Figura 33) por el contrario, realza altos gradientes causados por estructuras sub-horizontales. Sin embargo, los resultados sugieren estructuras y cambios similares a los ya descritos.

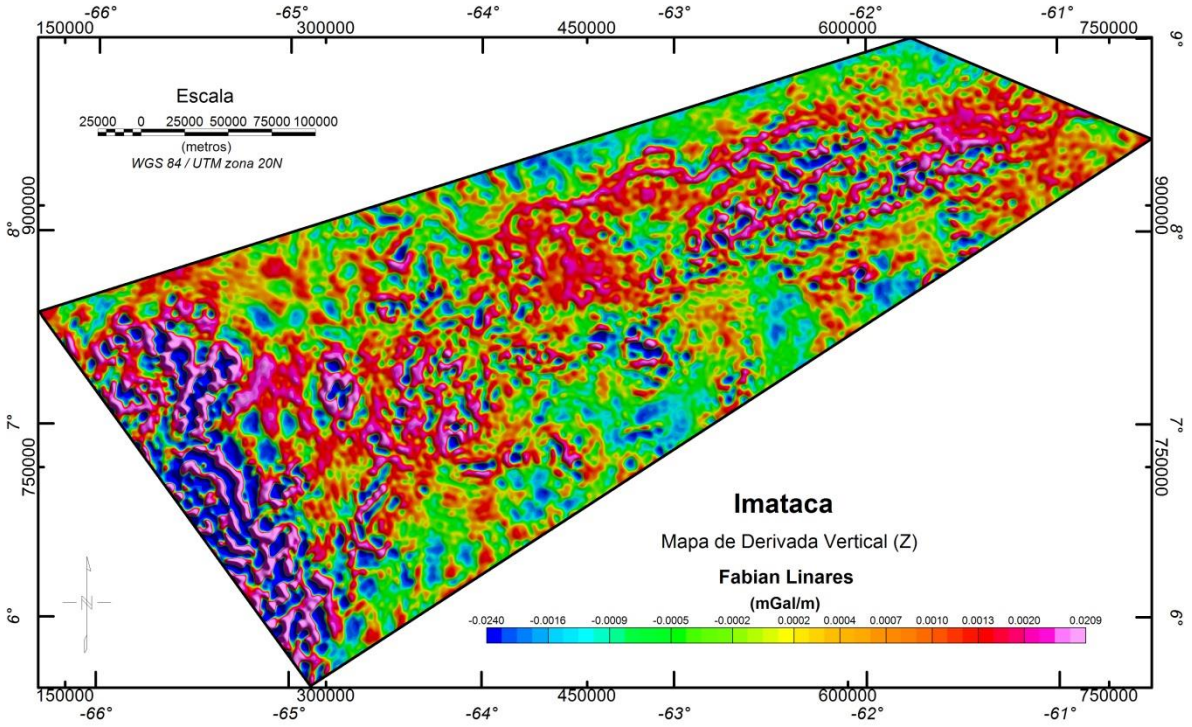


Figura 33. Mapa de derivada vertical de gravedad.

Al aplicar estas técnicas a los datos magnéticos resalta el carácter regional de este modelo. En la derivada horizontal se aprecia el cambio composicional y estructural entre oriente y centro/occidente. Lo regional del dato sugiere que el mapa muestra la estructura cortical intermedia principalmente. En la región central confirma que en profundidad las fajas tectónicas se encuentran amalgamadas, y que algunas de ellas presentan características magnéticas contrastantes, con disposición similar a las sugeridas por gravedad. En este caso, las fajas son inferidas grosso modo solo para hacer notar que la disposición de las estructuras tanto por gravedad como por magnetismo es similar, ya que cada una de ellas puede contener otras más en su composición ya comentado al interpretar la gravedad.

Una característica importante es que se observa un patrón estructural profundo similar a la falla de Guri, pero en Pastora ("posible tectonismo intra-Pastora" en Figura 34). Esto es importante debido a que podría generar algunas pistas sobre el sistema de interacción entre Imataca y Pastora al momento de formación y colisión, que posteriormente será analizado con otras técnicas de procesamiento e interpretación.

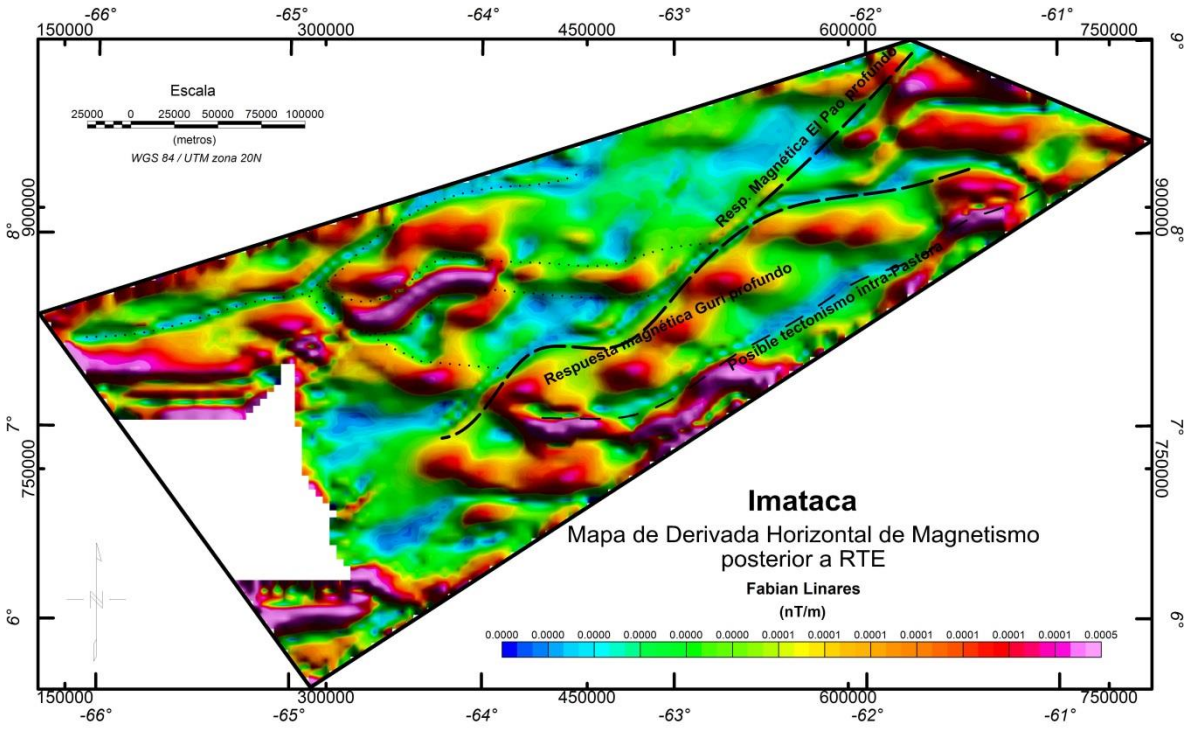


Figura 34. Mapa de derivada horizontal de magnetismo reducido al ecuador. Líneas de guiones: posible ubicación de fallas en profundidad. Líneas punteadas: lineamientos estructurales que concuerdan con el sistema de fajas tectónicas.

El mapa de derivada vertical de datos magnéticos (Figura 35) muestra patrones estructurales similares al mapa regional de gravedad, sugiriendo orientaciones NO-SE principalmente, con marcadas diferencias magnéticas en las fronteras de las provincias. Como esta derivada realza estructuras sub-horizontales, y las estructuras son predominantemente sub-verticales, es por ello que su variabilidad es baja, si se compara por ejemplo con el mapa anterior (Figura 34).

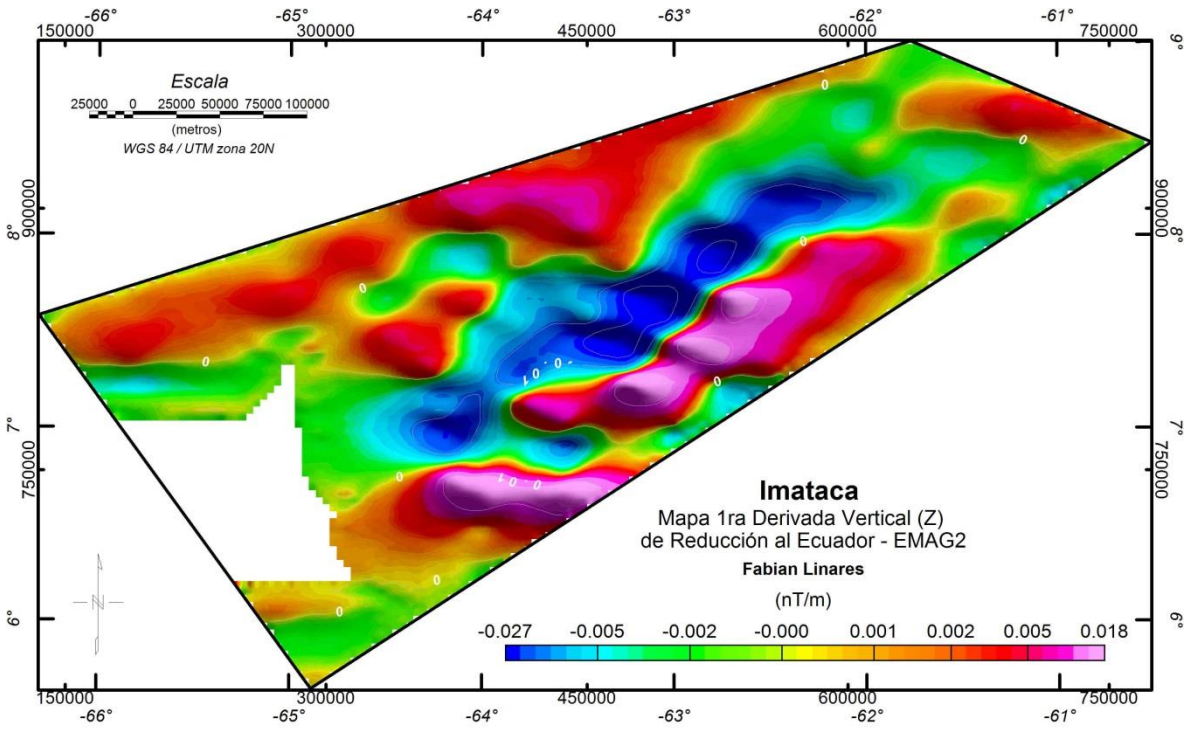


Figura 35. Mapa de derivada vertical de magnetismo reducido al ecuador.

DECONVOLUCIÓN DE EULER

Esta técnica es posible de aplicarla de diferentes maneras. Para este estudio fue utilizada de manera localizada, donde primero se ubican las ventanas fuente, se calcula el índice estructural a cada ventana, y se va calculando las profundidades posteriormente para cada índice. El primer resultado del procedimiento es un mapa que indica la distribución de los índices estructurales óptimos por ventana (Figura 36). El índice estructural debe ser colocado al momento del cálculo de la deconvolución y teóricamente es un factor exponencial que corresponde a la tasa de decaimiento del campo con la distancia, para una fuente de geometría dada. El rango de índice estructural para datos magnéticos va de 0 a 3, y para el dato de gravedad de 0 a 2.

De acuerdo con las indicaciones para la aplicación de la técnica en datos de gravedad, el índice estructural (SI: *structural index*) igual a cero o cercano a cero (SI = 0) corresponde con fuentes de geometría similares a capas, *sills* y diques, donde 2 de las dimensiones son infinitas. Si el índice estructural es igual a la unidad (SI = 1) en datos de gravedad, se está

sugiriendo que las fuentes a calcular presentan geometría de cilindro o tubos donde una (1) de las dimensiones de la fuente es infinita. Si el índice es igual a 2 (SI = 2) de igual manera en gravedad, implica fuentes de geometría similar a una esfera donde las dimensiones de la fuente son limitadas.

La frontera entre Imataca y Cuchivero está delimitada por SI cercanos a cero (0), esto sugiere que dos de sus dimensiones no pudieron ser calculadas, considerando un contacto que se extiende en profundidad y rumbo. Los patrones estructurales interpretados hacia el occidente de la provincia concuerdan en disposición y tendencia con el conjunto de SI de valor 0 y 1, indicando que estos corrimientos alcanzan gran profundidad y su inclinación es intermedia. Muchas de las intrusiones silíceas obedecen a SI de valor 2 que podrían ser aquellas cuyas dimensiones son limitadas, otras se encuentran caracterizadas por SI = 1, donde las mismas alcanzan mayor profundidad posiblemente.

Las migmatitas se forman por fusión parcial de varios minerales formadores de la roca protolito, principalmente rocas silicatadas donde el cuarzo y el feldespato se funden primero. Esto sugiere que la zona central estuvo expuesta a procesos metamórficos donde parte de la roca caja (gneis) se funde. Estas migmatitas a su vez se encuentran en relativa cercanía a un conjunto de intrusiones silíceas, que al igual que la migmatita, siguen un patrón estructural similar a las fajas tectónicas. Es probable que coincidan las fuentes de calor que generaron tanto las intrusiones como la migmatización. En subsuelo parecen existir numerosas intrusiones de este tipo en toda la provincia que no son observadas en superficie, sobre todo tomando en cuenta la cantidad de respuestas de SI = 2 hacia el oriente de la provincia.

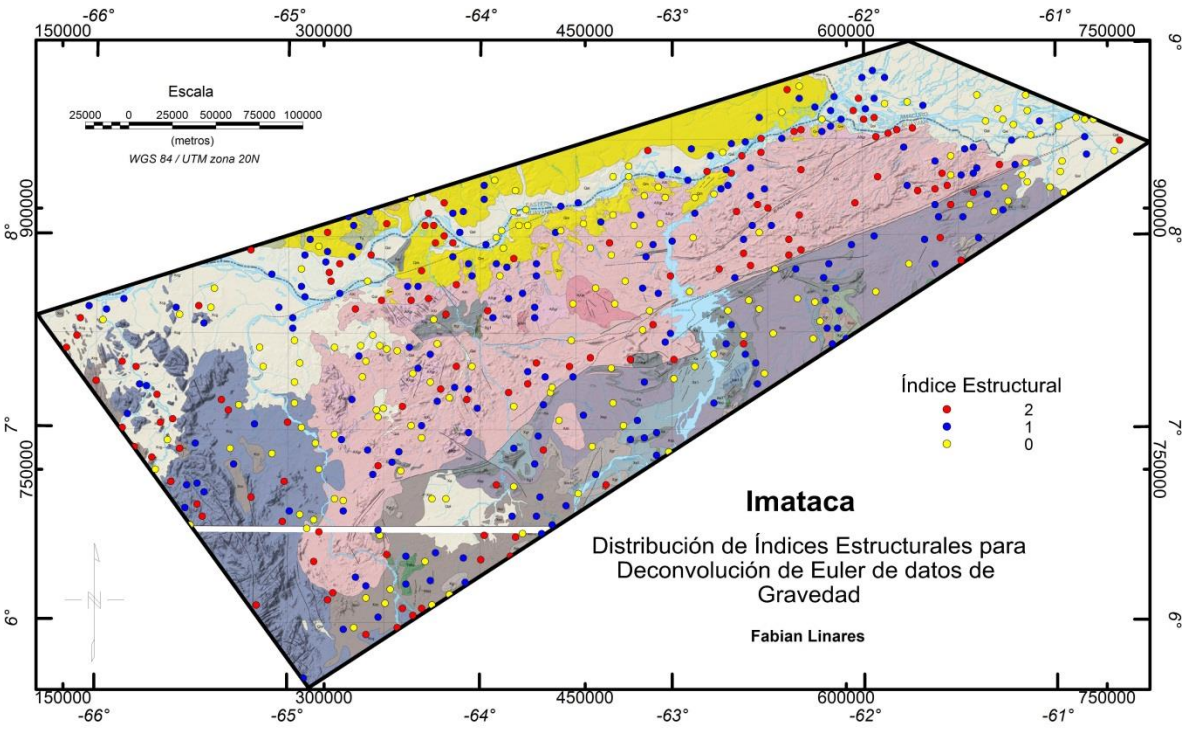


Figura 36. Distribución de índices estructurales para deconvolución de Euler en datos de gravedad. Mapa geológico de fondo.

Una vez calculadas las ventanas localizadas de Euler se procede a hacer la deconvolución, de la cual resulta para cada ventana un valor estimado de profundidad. El proceso se repite varias veces con cada índice estructural. Los tamaños de ventana fueron limitados a un mínimo de 5 km hacia mayores tamaños para garantizar que las longitudes de onda calculadas sean acordes a las estructuras que se pretenden caracterizar. El resultado de la corrida con SI = 0 se aprecia en la Figura 37. Toda su franja al norte de Imataca indica una gran cantidad de contactos (debido a que es SI = 0) a intervalos muy someros de profundidad. Esto es debido al alto contraste que supondría los sedimentos de la cuenca Oriental sobre la proyección de Imataca en subsuelo, en un intervalo entre 0 m y -2000 m. Este tipo de respuesta también es común encontrarla en zonas cubiertas por aluviones, principalmente el del intervalo entre 0 m y -1.000 m. El contacto entre Imataca y Cuchivero se encuentra bien definido por un conjunto de localidades con diferentes intervalos de profundidad. Con esta técnica se confirma que la variabilidad estructural y composicional en subsuelo es mayor hacia las regiones central y occidental de Imataca, donde los patrones estructurales someros marcan varios de las respuestas observadas. Las rocas

correspondientes a esquistos andesíticos-anfibolíticos muestran respuestas de carácter somero, principalmente en el intervalo entre 0 m y -1.000 m, lo que infiere que estas litologías son superficiales. Las variaciones composicionales coinciden con soluciones someras, y muchas de ellas no se encuentran representadas en el mapa geológico, ya que probablemente no afloran en superficie. Las migmatitas sugieren ser un cuerpo que se extiende hasta alrededor de los -2.000 m de profundidad.

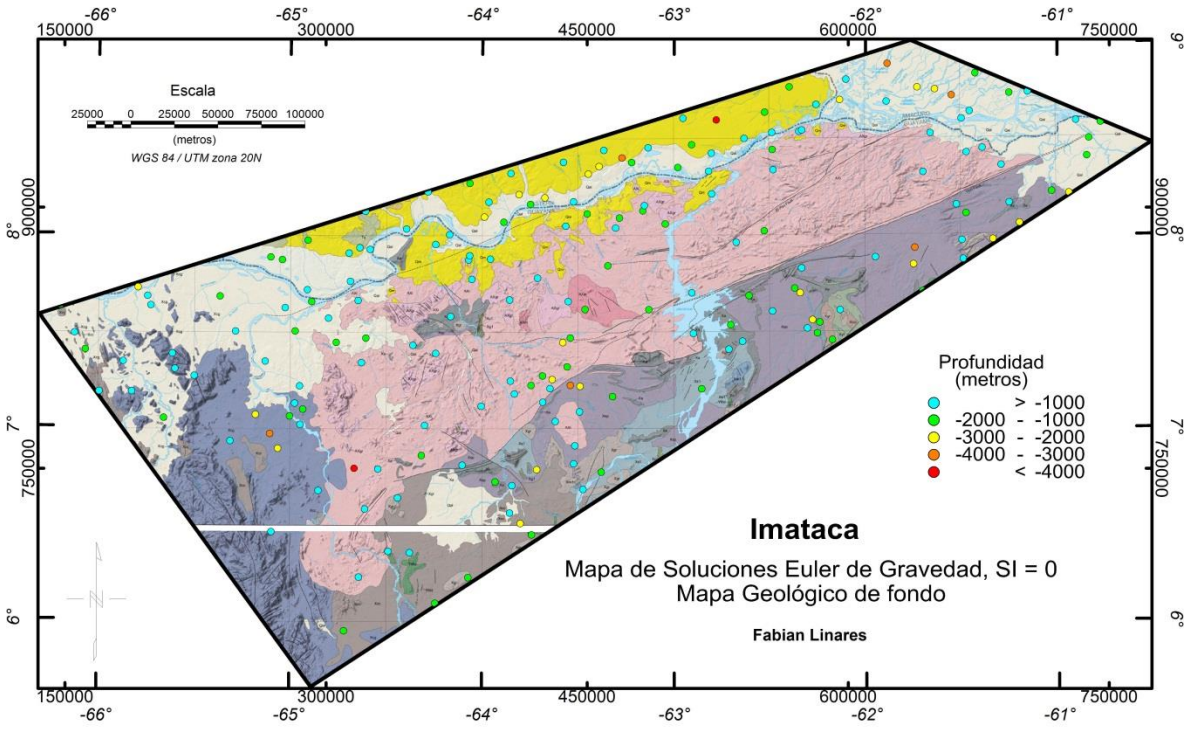


Figura 37. Soluciones de Euler en datos de gravedad con SI = 0.

Al aumentar el índice estructural se comienza a apreciar estructuras más delimitadas, ya que solo una dimensión de esta es indeterminada. La transición de Imataca a la cuenca Oriental, al norte de la Figura 38, se encuentra representada como escalonada. El SI = 1 coincide con estructuras macizas verticales u horizontales, bien diferenciadas, y por ende es posible observar que todo el norte del mapa (límite superficial de Imataca) contiene puntos de dos intervalos de profundidad, un intervalo siempre más al norte que el otro. Los puntos verdes (profundidad entre -4.000 m y -2.000 m) se encuentran justo en el borde norte de la provincia, y más hacia el norte, hacia la cuenca, puntos amarillos (entre -6.000 m y -4.000 m) aparecen alineados con un patrón SO-NE, sub-paralelo al límite de Imataca. Debido a que los sedimentos en esta región particular no son capas tan gruesas, sino que por el

contrario el basamento se encuentra somero, las soluciones están presentando estructuras similares a un margen pasivo, donde el subsuelo de Imataca se encuentra escalonado. Como se comenta anteriormente, a nivel de profundad la provincia tiene una interfase a unos 3.5 km de profundidad, que podría representar el cambio litológico de gneises silíceos a granulitas, las respuestas de Euler parecen sugerir la morfología escalonada de esta interfase en un intervalo que va desde los -6.000 m a los -2.000 m. Los saltos de estos escalones son bastante pronunciados. Si la provincia se prolonga hacia el delta del Orinoco, la misma interfase se encuentra más profunda incluso, en un intervalo entre -8.000 m y -6.000 m, igualmente escalonada.

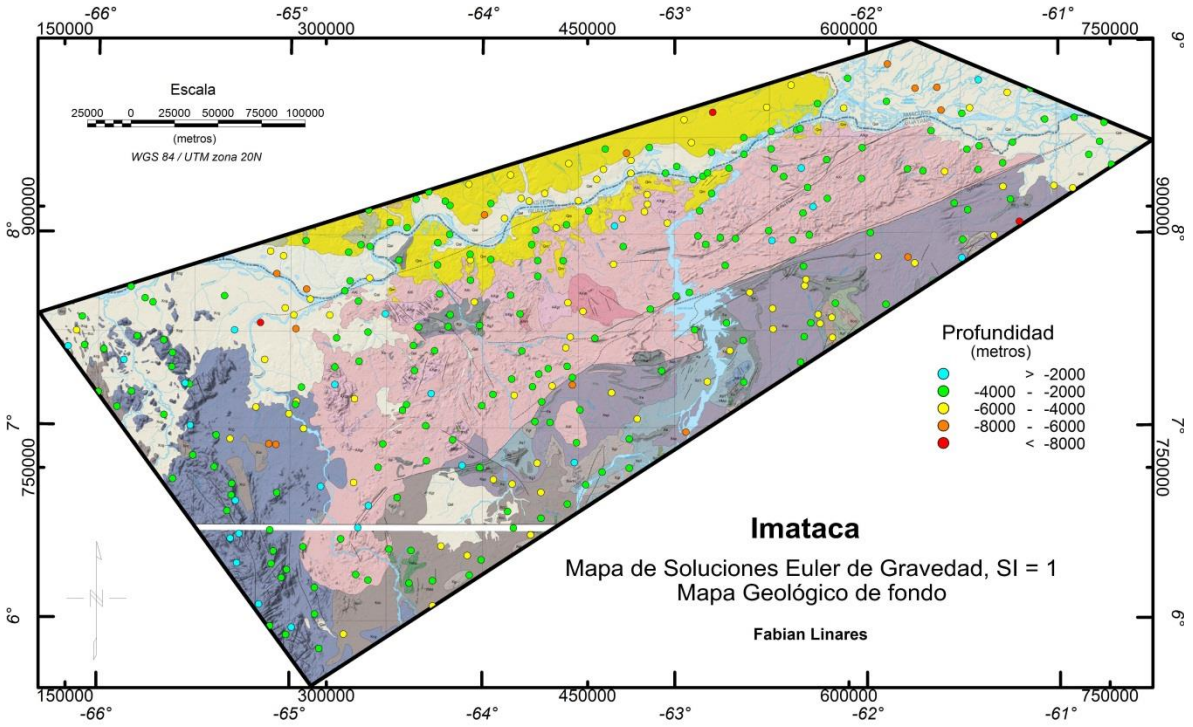


Figura 38. Soluciones de Euler en datos de gravedad con SI = 1.

Hacia el occidente de Imataca, en la provincia de Cuchivero se observa un patrón líneas de soluciones de diferentes profundidades justo donde los mayores relieves topográficos se presentan. Esto podría ser indicativo de un sistema estructural NNO-SSE sub-paralelo a la orientación de colisión entre ambas provincias, esto indica que la zona de sutura en profundidad se entra ubicada con igual orientación y posición de una supuesta prolongación

del río Cuchivero hacia el sur. Si no corresponde a la sutura, entonces sería un sistema tectónico paralelo y ocasionado por esta colisión.

Patrones estructurales con similar aglutinamiento de puntos de diferentes profundidades también se aprecian en el oriente de Imataca, en sentido sub-paralelo a las fallas Guri y El Pao, siendo los mismos también productos de tectonismo. Justo sobre el afloramiento de diabasas, 4 puntos de intervalo entre -4.000 m y -2.000 m se alinean a esta orientación, sugiriendo que estos cuerpos tienen expresión en profundidad y que son posteriores a la etapa tectónica, ya que no parecen tener una disposición en profundidad diferente a la que tienen en afloramiento.

Muchos de las soluciones en la sección centro-occidental tienen intervalos de profundidad similares (puntos verdes), ubicados en zonas de fallamiento, amalgamamiento y/o cambio litológico, donde el intervalo sugiere que al menos hasta la interfase granulita-gneis muchas de estas estructuras conservan expresión de gravedad. Varias de las zonas con relieve, donde se menciona que aflora gneis, es posible que internamente se encuentren intrusiones de rocas silíceas más jóvenes que solo son apreciadas en superficie en algunas localidades.

La Figura 39 representa las soluciones utilizando SI = 2. En la misma se comprueba que las interpretaciones y patrones mostrados en la figura anterior siguen manteniéndose incluso al incrementar el índice, en rangos de profundidad muy similares. Donde el rango de profundidad varía, siendo lo ubicación de la solución en ambos mapas la misma, indica que la estructura o cambio composicional continúa en profundidad.

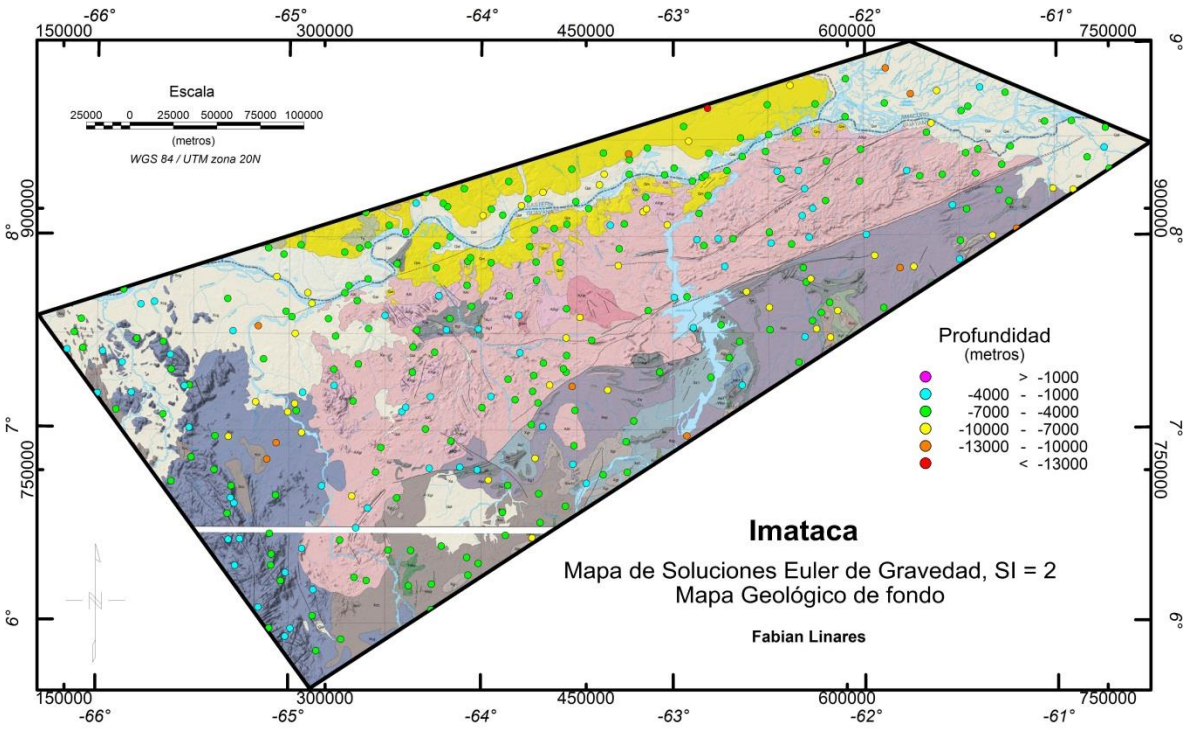


Figura 39. Soluciones de Euler en datos de gravedad con SI = 2.

Los resultados e interpretación de los perfiles generados mediante la deconvolución de Werner y Señal Analítica se encuentran en los Anexos de este documento. Los mismos constituyen información relevante que amplían y complementan la interpretación de la geología y estructura de esta provincia a partir de los datos de gravedad. Los mismos constituyen fundamentos que nutrirán las conclusiones.

CAPÍTULO IV
PASTORA

La provincia de Pastora se extiende desde la falla de Guri al norte hasta las proximidades del parque nacional Canaima al sur, por el este hasta los límites con la Zona en Reclamación del Esequibo y al oeste hasta el río Caura.

Esta provincia está formada por CRV (cinturón de rocas verdes), delgados, más antiguos, tectonizados, tipo Carichapo, formados en/o cerca de un arco de islas en una zona de convergencia, y CRV más jóvenes y menos tectonizados y menos metamorfizados, tipo Botanamo, formados en la cuenca delante del arco de islas y complejos graníticos sódicos, como el Complejo Supamo, siendo toda la secuencia intrusionada por granitos potásicos o "*sensu estricto*", dioritas y rocas gabroides con escasos y no bien definidos complejos máficos-ultramáficos, ofiolíticos o no, tipo Yuruan-Uroy, e intrusiones de diques anulares como Nuria y *sills* de diabasas y rocas asociadas norítico-gabroides con algo de cuarzo. Los CRV más antiguos muestran tendencias estructurales próximas a N-S (N10ºE a N20ºO), mientras que los CRV más jóvenes casi siempre muestran tendencias en ángulo recto con las anteriores, próximas a E-O (N70º-80ºE) (Mendoza, 2005).

Menéndez (1968) indica que al norte del paralelo 6º, la provincia se caracteriza litológicamente por una secuencia de rocas volcánicas ácidas y básicas, rocas sedimentarias asociadas que han sufrido un metamorfismo de grado bajo, el cual alcanza localmente la facies de la anfibolita.

En general, se considera que ésta está formada por una secuencia supracortical de rocas verdes ubicada preferentemente en zonas sinclinoides entre domos graníticos (González de Juana *et al.*, 1980). Mendoza (1973, 1977), analizando los posibles tipos de basamento que pudo tener esta provincia, se inclina por considerar que fue un basamento oceánico de composición máfica, con extremos continentales actualmente aflorantes: Complejos de Imataca al norte y Kanukú en Guyana, y granitos sódicos de los Complejos Supamo y Bártica en Venezuela y Guyana, respectivamente.

La provincia de Pastora o "Esequibo" comprende rocas cuya edad se estima entre los 2.7 Ga y 2 Ga. Dentro de esta provincia se encuentran diques de gabros o diabasas, intrusivos a varios niveles.

En la región de Guasipati-El Callao aflora una sección del Supergrupo Pastora (Menéndez, 1968,1972), CRV antiguo, compuesto del Grupo Carichapo y la Formación Yuruari. El primero está constituido por las Formaciones Cicapra (predominantemente komatítica), Florinda (basáltico toleítica a komatítica) y El Callao, típicamente basalto-andesítica ("basandesitas") toleíticas. La presencia de basaltos komatíticos pudiera sugerir, alternativamente, que el CRV de pastora se formó sobre una pluma de calor del manto superior en una placa oceánica, formando parte de un arco de islas oceánicas más primitivas, con menos sedimentos asociados, con abundancia de basaltos toleíticos oliviníferos a magnesianos.

Las rocas del Supergrupo Pastora más el Grupo Botanamo son correlacionadas con aquellos CRV del Supergrupo Barama-Mazzanuri de Guyana, el Grupo Marowijne y Grupo Coeroni de Surinam, la Serie Paramaca (Grupos Orapú y Bonidoro) de Guayana Francesa y el Grupo Vila Nova de Brasil (Sidder & Mendoza, 1995) y el CRV de Parima-Cauarame del Alto Orinoco-Surucucú de Brasil (Tassanari *et al.*, 2000). Estos CRV y rocas graníticas asociadas forman la gran provincia Maroni-Itacaiuna, un cinturón móvil que forma gran parte de las rocas supracostrales del Cratón Amazónico (Cordani & Brito Neves, 1982; Goodwin, 1991). Los CRV más antiguos de Pastora son posiblemente correlacionables con CRV del Birrimian de África Occidental (Mendoza, 2005).

Basaltos komatíticos, komatítico-toleíticos y toleíticos espilitizados con estructuras almohadilladas predominan en la parte basal o inferior de los CRV de Guayana, seguidos en la parte intermedia por mayor predominio de rocas andesíticas y dacíticas sobre basálticas intercaladas con sedimentos mayoritariamente pelíticos volcanigénicos, y la parte superior está dominada por rocas turbidíticas, pelitas, tobas, cherts y volcanoclásticas, cerrando con areniscas cuarcíticas, filitas y conglomerados polimícticos, transicionales entre piríticos de color verdoso a no-piríticos de colores rojizos.

Durante el Proterozoico, la mayor parte de la corteza se formó en los ambientes tectónicos siguientes: a) orógenos acrecionales en arcos de islas y magmatismo de surcos oceánicos

(komatitas); b) "collage" o formación de supercontinentes a 2,5 Ga, 1,95 Ga, 1,6-1,5 Ga y 1,0 Ga; c) ruptura o rifting de supercontinentes como resultado de convección del manto superior a 2,4-2,2 Ga, 1,5-1,3 Ga y 1,0-0,8 Ga, cuyos resultados resaltan la formación de basaltos tipo "plateaux", rift intracontinentales, enjambre gigante de diques a nivel mundial, y magmatismo anarogénico de rift continentales.

A su vez, este eón registró el máximo crecimiento de corteza continental, a través del desarrollo de diversos orógenos o bloques continentales en diferentes partes y tiempos en el planeta que en cierto período chocaron, se aglutinaron y formaron un supercontinente. Los supercontinentes más notorios son: Atlántica a 2,2-1,9 Ga, al final de la orogénesis Transamazónica; Rodinia, al final y post-orogénesis de Grenville, a 1,0-0,9 Ga; y Gondwana, después de la orogénesis Brasiliano-Pan Africano, que en África inició hacia 1,0+-0,95 Ga y en Brasil hacia 0,75-0,6 Ga.

En Guayana (Figura 40), a las rocas granitoides TTG (tonalitas, trondjemitas y granodioritas) del Complejo Supamo, asociados a los CRV (2,25-2,15 Ga), sucedieron rocas volcánicas y granitos comagmáticos, ricos en potasio, calco-alcalinos de Cuchivero (1,96-1,88 Ga). Post-Pastora y pre-Cuchivero (alrededor de los 2 Ga) se emplazaron complejos máficos-ultramáficos parcialmente aflorantes, aun cuando no se descarta que tales complejos sean remanentes ofiolíticos oceánicos (Mendoza, 2005). En el Mesoproterozoico, en ambientes de rift continentales, se emplazaron granitos rapakivis tipo Parguaza (1,55-1,38 Ga) y equivalentes y complejos alcalinos (1,35-1,3 Ga) como el de La Churuata en el Estado Amazonas. Durante el Neoproterozoico se recristalizaron las rocas del Escudo, sufrieron metamorfismo retrógrado las granulitas y anfibolitas, se reactivaron fallas y en algunas se desarrollaron milonitas y pseudo-taquilitas. Se emplazaron gran número de diques de pegmatitas y aplitas graníticas, algunos granitos, lamprófiros, carbonatitas como la de Cerro Impacto y kimberlitas eclogíticas diamantíferas como las de Quebrada Grande en Guaniamo (Mendoza, 2005).

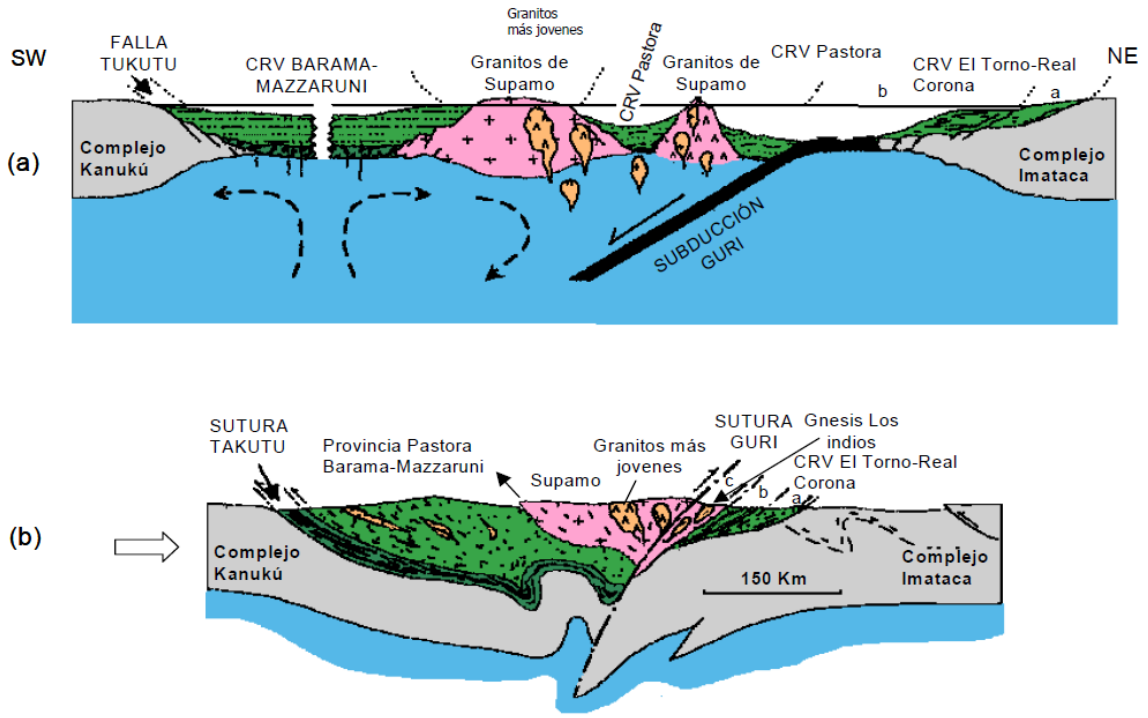


Figura 40. Secciones mostrando: a) Estructura dómica de los granitos sódicos del Complejo Supamo y los sinformes de CRV de Pastora y Botanamo; b) cierre del océano y colisión de los CRV de Pastora y Botanamo contra el continente Imataca. La zona de colisión está representada por la falla o sutura de Guri al NE y de Takutu al SW (Mendoza, 2005).

Los resultados del análisis de composición espectral de la señal (Figura 41) revelan la configuración estructural regional de la provincia. En primera instancia, los datos de gravedad sugieren una profundidad de 38,5 km para Mohorovicic, 17.6 km para Conrad y un contraste de densidad somero ubicado a aproximadamente 3,3 km. El contraste de densidad intermedio atribuido a Conrad entre Imataca y Pastora sufre levantamiento, pasando de alrededor 22 km a 17,6 km. Esto infiere que la corteza inferior de Pastora confiere el mayor efecto gravitatorio de la zona, y que la provincia presentaba mayor competencia y espesor al momento de colisión con Imataca, concordando así con la hipótesis de subducción de Imataca por debajo de Pastora hasta el momento de sutura, donde Imataca posteriormente sobre-corre a Pastora, evidenciado en los resultados estructurales en Guri. El contraste somero podría corresponder con la profundidad promedio a la cual se encuentra, en algunos lugares, el Complejo Supamo sobre-corriendo el CRV de Pastora, que a su vez yace sobre el Complejo Kanukú (Figura 40).

No obstante, el espectro magnético sugiere una estructura cortical variable (en términos de magnetismo y/o quizás de composición). En el espectro se observa que la isoterma de Curie puede encontrarse a alrededor de 37,4 km de profundidad en promedio, relativamente estable respecto a los 33,5 km que reportó el espectro magnético de Imataca, con una profundización de 4 km aproximadamente. Esto sugiere que, en la actualidad, en términos térmicos, ambas provincias se encuentran en condiciones similares.

Posteriormente, existen interfases a 24 km, 10,4 km y 6,2 km de profundidad que marcan cambios de propiedad magnética importantes. Es probable que estos intervalos representen lo siguiente: a) entre 37,4 km y 24 km aproximadamente el remanente cortical de la parte más profunda del Complejo Kanukú; b) entre 24 km y 10,4 km es probable que se encuentre el punto de cambio composicional entre la parte superior del remanente de Kanukú y la base de los CRV más antiguos (sugerido por los datos de gravedad a 17,6 km); c) entre 10,4 km y 6,2 km, aunque puedan existir variaciones composicionales internas, representaría la sección de los CRV jóvenes d) entre 6,2 km que sugiere el magnetismo y 3,3 km que sugiere la gravedad, es probable que el intervalo esté constituido por la base del Complejo Supamo o la parte superior de los CRV más jóvenes. Para la primera posibilidad la interfase a 3,3 km sería en algunas localidades el contacto entre Complejo Supamo y granitos más jóvenes; para el segundo escenario 3,3 km correspondería con el cambio CRV a Supamo por falla de corrimiento o por contacto de la base de los domos. Es probable que sea a su vez una combinación de ambas propuestas en dependiendo del sector.

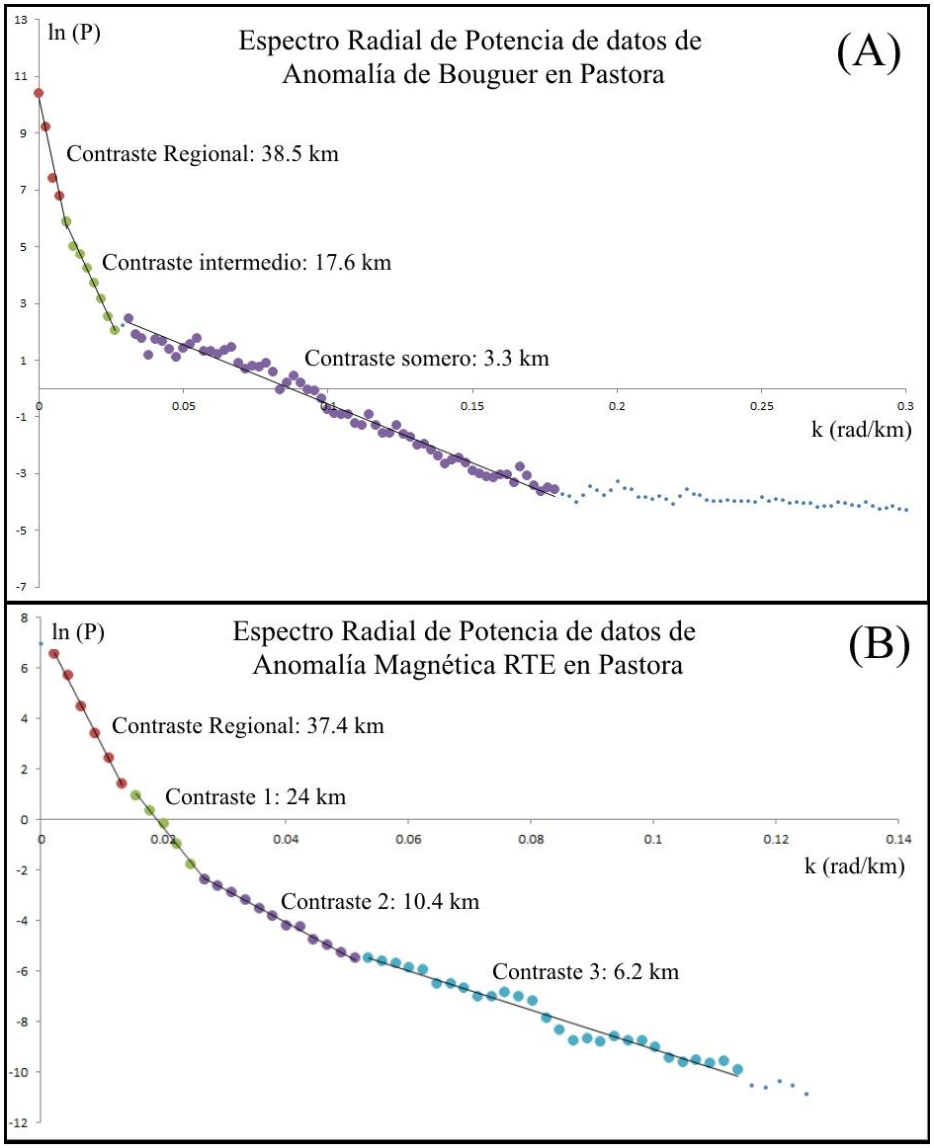


Figura 41. Espectros radiales de potencia de la provincia Pastora: a) espectro de potencia de datos de gravedad; b) espectro de potencia de datos magnéticos.

Las Figura 42 y Figura 43 representan los mapas geológicos de la provincia Pastora del lado venezolano y guyanés respectivamente. En la primera imagen se representa el polígono color negro en el cual se aplicarán las técnicas para la caracterización de la provincia en correlación con el contexto.

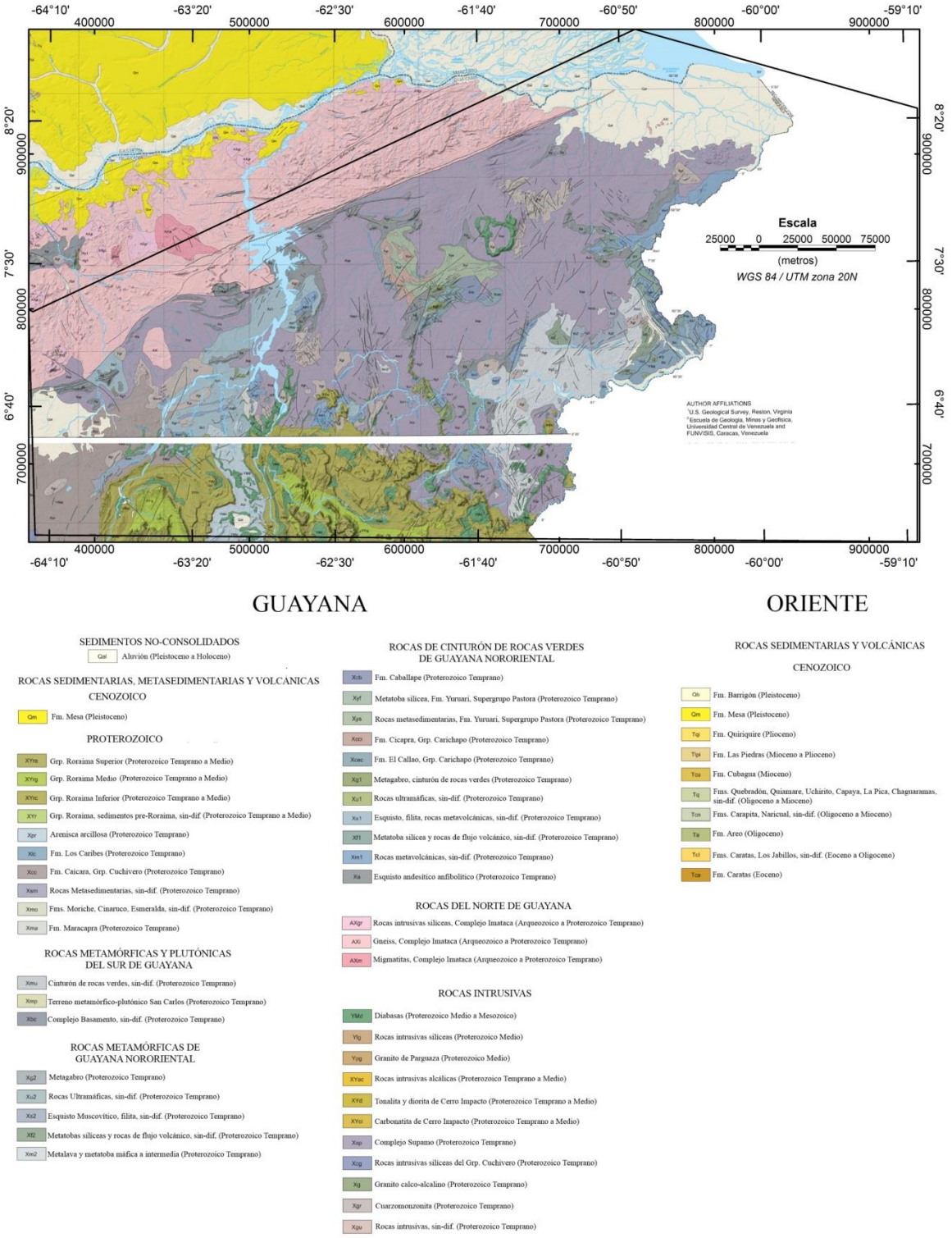


Figura 42. Mapa geológico de la provincia Pastora (Hackley *et al*. 2005).

En la imagen de geología de Guyana, las rocas que se observan en la unidad de color amarillo corresponden con las rocas metavolcánicas félsicas de Dalbana-Iwokrama-Surumu

que corresponden a la Formación Caicara en el territorio venezolano. Este conjunto correspondería al límite sur de la caracterización de la provincia Pastora hacia Guyana, con excepción por supuesto, de la región que corresponda a la provincia Roraima, que será abordada en un capítulo posterior.

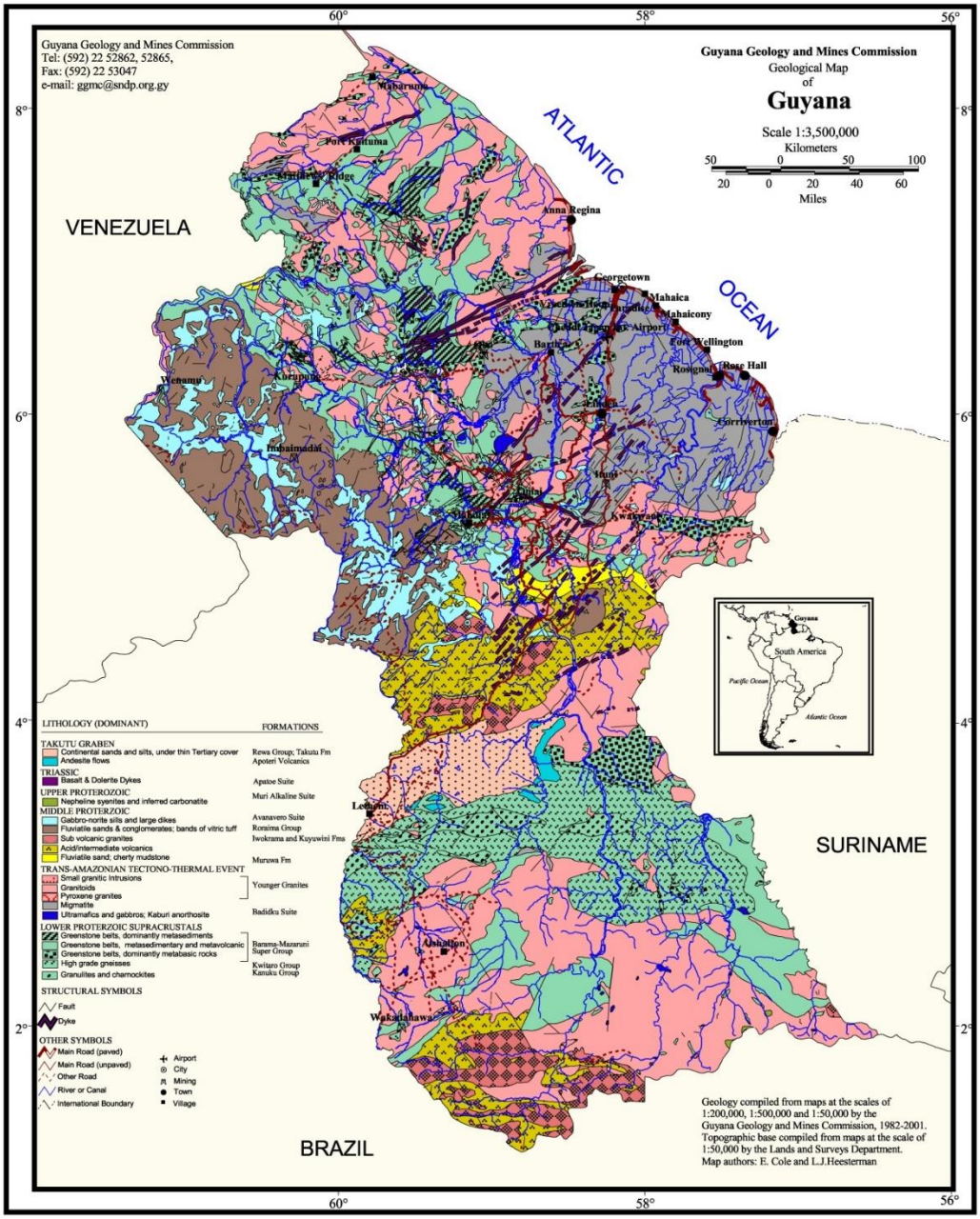


Figura 43. Mapa geológico de Guyana (Cole & Heesterman, 2001).

La Figura 44 consiste en una representación simplificada del Escudo de Guayana que permite hacer las correlaciones de las unidades en diferentes países. Como se observa, este

mapa presenta la continuidad de los complejos que conforman a la provincia de Pastora hacia Surinam y la Guayana Francesa, con una disposición curva NO-SE. Estas unidades rojas y verdes en la imagen corresponden con las unidades compuestas por TTG y CRV respectivamente. Para TTG se incluyen las intrusiones diapíricas. En los CRV se incluyen los cinturones Vila Nova, Marowijne, Barama-Mazaruni y Pastora-Carichapo.

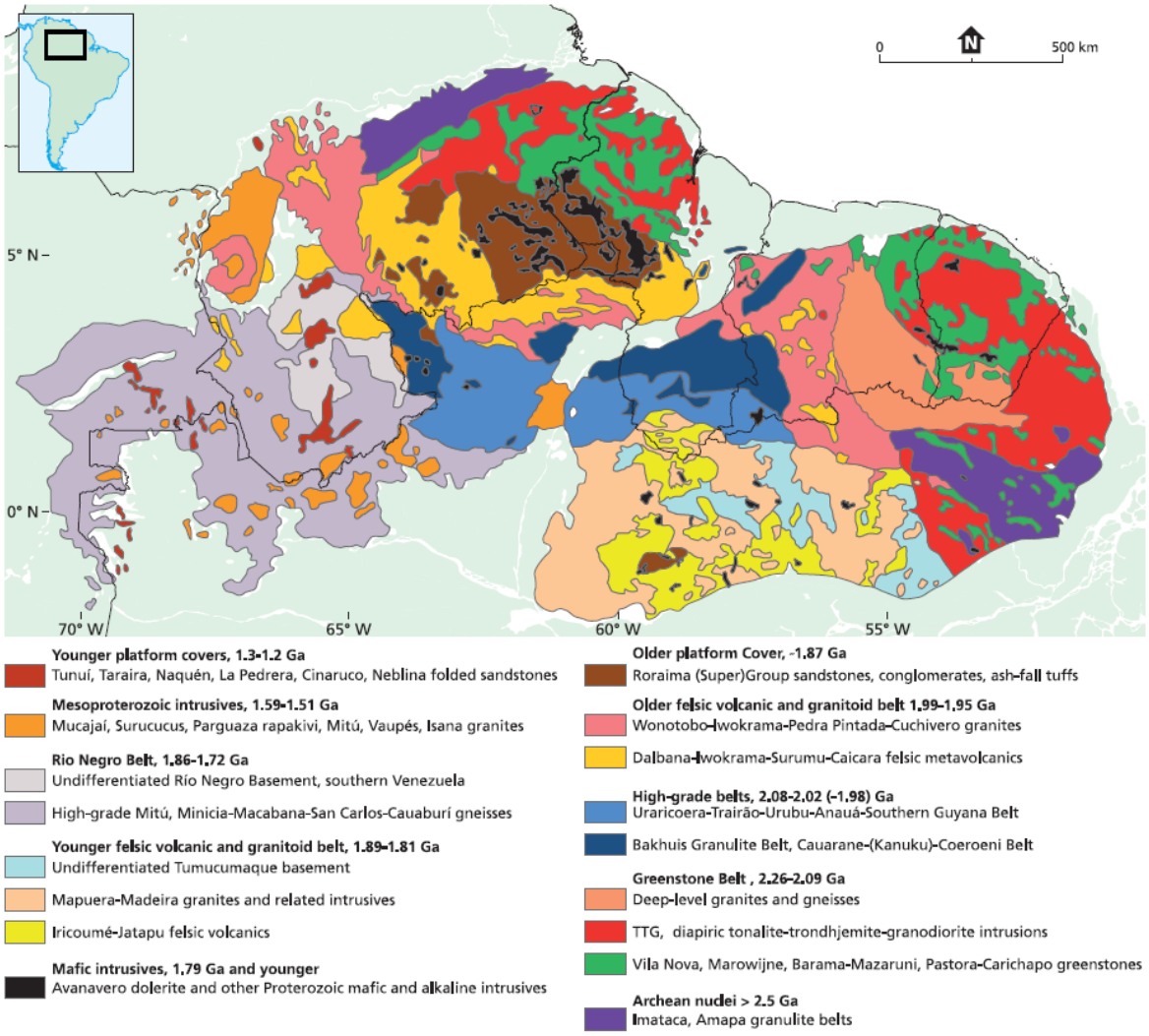


Figura 44. Mapa geológico simplificado del Escudo de Guayana. Compilado de varias fuentes por Kroonenberg *et al.* (2016).

El mapa de anomalías de Bouguer (Figura 45) presenta dos tendencias regionales principales. La primera y más representativa en dirección OSO-ENE, ligeramente más E-O que la orientación de la falla de Guri. La segunda consiste en la transición del Escudo de Guayana hacia el océano Atlántico, dominado a su vez por anomalías de magnitud positiva

concordante con la composición transicional a corteza oceánica de este sector al NE del mapa.

La primera tendencia regional mencionada corresponde con rocas de la provincia Pastora principalmente, junto con la franja de contacto con Imataca hacia el norte. En términos de magnitudes, esta sección se encuentra dividida en dos (2) grupos: a) cuando las anomalías se ubican donde el Complejo Supamo aflora, las mismas presentan un intervalo entre -80 mGal y -50 mGal aproximadamente; b) cuando las anomalías se ubican en sectores donde afloran rocas pertenecientes a CRV u otra litología, el intervalo de magnitudes es entre -50 mGal y -25 mGal aproximadamente. A su vez, ambos grupos presentan diferencias que las discrepan al evaluar sus longitudes de onda, siendo las anomalías del Complejo Supamo de mayor longitud relativa a las de los CRV. Esto se debe posiblemente a que la litología en los CRV es mucho más variable que en Supamo. Existe un conjunto de anomalías orientadas en sentido SO-NE que corta la provincia, que sugiere ser las localidades donde cambios litológicos abruptos aparecen (quizás mayoritariamente relacionados a CRV, con rocas máficas metamorfizadas).

El efecto de peso que genera Roraima en la respuesta de gravedad es evidente si se considera que las anomalías de Supamo al norte alcanzan mínimo -70 mGal, mientras que a medida que Pastora se acerca a Roraima las anomalías alcanzan los -90 mGal. Adicionalmente, las longitudes de onda en este último sector son más irregulares, aleatorias y de menor longitud de onda que en el norte, siendo allí donde los mayores gradientes se observan.

El contacto con Imataca marca un significativo cambio de magnitudes hacia valores positivos, encontrándose la inflexión (curva de 0 mGal) cerca de la falla de Guri. Hacia el oriente del mapa, se aprecia que la provincia adquiere la misma curvatura que se representa en el mapa geológico general simplificado hacia Guyana, siendo la frontera entre ambos países (Venezuela y Guyana) la franja de cambio de orientación. Cabe mencionar en este apartado, que los enjambres de diques de diabasa parecen presentar un patrón semi-circular, donde el Escudo de Guayana presenta solo un hemisferio de esta circunferencia. Este tema particular será abordado en profundidad durante el capítulo referente a Roraima, debido a que la mayoría de estos diques afloran dentro de esta provincia.

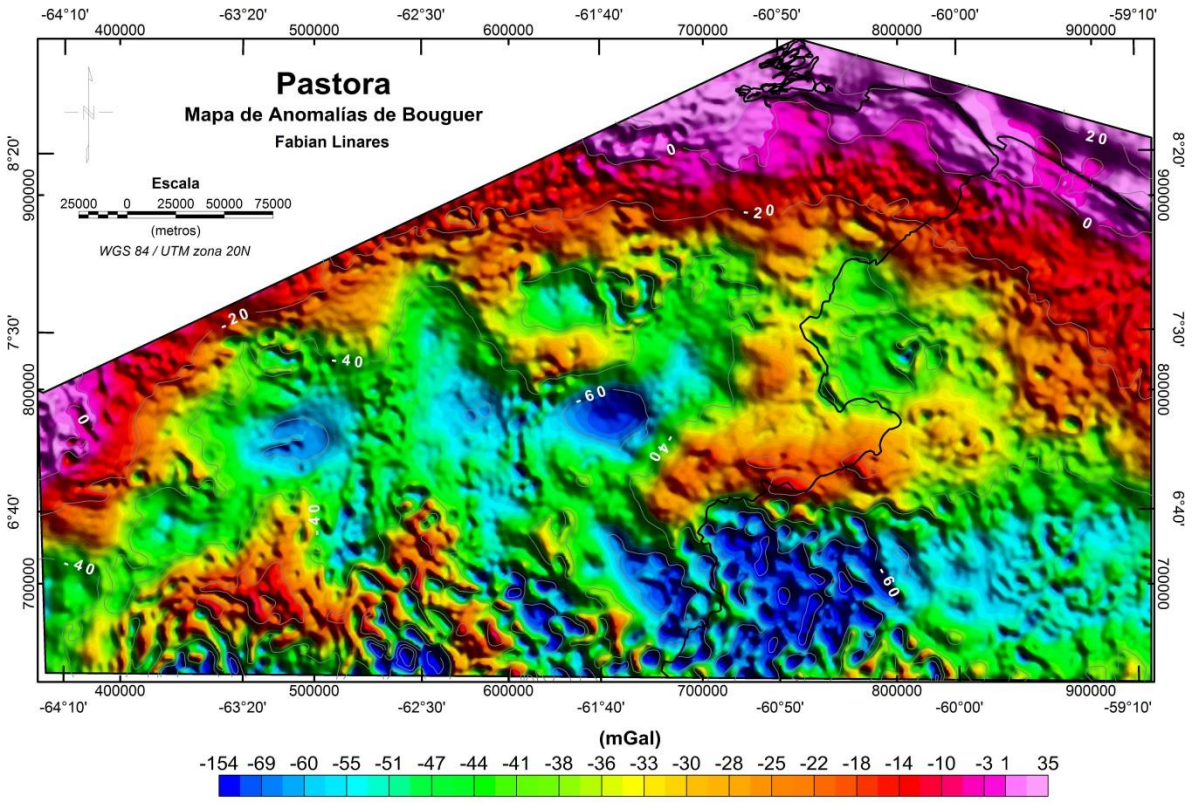


Figura 45. Mapa de anomalías de Bouguer del modelo combinado EIGEN-6c4 en la provincia Pastora.

En el mapa también se observa que donde afloran las litologías metamórficas de afinidad máfica en Supamo del norte, las anomalías cambian hacia magnitudes entre -25 mGal a incluso -15 mGal. Esto se debe a que Supamo, -siendo un cuerpo de roca (no necesariamente homogénea, sola a efectos prácticos) de espesor aparente considerable, más joven, con rocas de relativa baja densidad al ser comparadas con las rocas de los CRV que han sufrido metamorfismo-, genera anomalías de alta magnitud negativa, puestas en contraste (ya que Supamo es intrusivo a los CRV) con rocas de afinidad máfica, modificadas por procesos de metamorfismo (incluso retrógrados) y de espesores también importantes, generan este contraste.

Una conducta particular en el mapa es que existen al menos dos (2) sistemas en Supamo que corren perpendicular a la orientación de la provincia en general. El primero y más evidente cerca del meridiano -62,5°, que coincide con la ubicación grosso modo de litologías metavolcánicas del Proterozoico Temprano; el segundo cerca al meridiano -62°,

que coincide con el afloramiento de las formaciones El Callao, Cicapra, Caballape, Yuruari y quizás otras más (Figura 45).

Hacia el norte de Guyana, las anomalías que se encuentran sobre lugares donde el Complejo Supamo (o su equivalente) aflora, presentan rangos de anomalías de magnitud baja negativa, alrededor de los -10 mGal. Por su ubicación, es probable que esta conducta que discrepa de lo observado del lado venezolano se deba a la cercanía de esta provincia con corteza oceánica, sugiriendo que la interfase de Mohorovicic es más somera hacia esta región. A su vez, existen discretas diferencias en las anomalías que reflejan los CRV en Guyana, pero el gradiente anteriormente descrito de Mohorovicic dificulta discernir fehacientemente. Lo que en cierto grado se puede deducir es que las anomalías del lado venezolano son más negativas que en el guyanés.

El mapa de anomalías magnéticas (Figura 46) es un excelente indicador de la disposición espacial que presenta la provincia. Tomando en cuenta que la zona se encuentra cerca al ecuador, las anomalías son compuestas, es decir, una misma fuente presenta tanto una respuesta de anomalía positiva como otra de menor o mayor magnitud negativa. A rasgos generales este mapa presenta tres (3) familias de magnitudes: a) magnitudes positivas entre 0 nT y 600 nT que parecen indicar la disposición de los CRV por un lado, y parte del contraste entre Imataca y Supamo por el otro; b) magnitudes negativas entre 0 nT y -300 nT/-400 nT desde el noroeste del mapa hacia el noreste, que obedecen al parecer a la sumatoria de efectos, ya que se tienen rocas intrusivas graníticas de bajo magnetismo teórico como Supamo y además la deflexión de las anomalías positivas de los CRV y otros cuerpos máficos más magnéticos producto de la inclinación del campo magnético; c) anomalías negativas en el sur del mapa en rango entre 0 nT y -300 nT aproximadamente que coincide con la ubicación de la provincia Roraima.

La zona de contacto que divide a los CRV y al Complejo Supamo a nivel de profundidad cortical intermedio probablemente, se podría encontrar similar a la disposición que presenta el gradiente o zona de inflexión entre magnitudes positivas y negativas que atraviesa a la provincia de oeste a este, entre 7ºN y 8ºN, y que sigue la curva de isoanomalía 0 nT en forma similar a una “s” horizontal. Entre -64ºO y -62,5ºO convergen dos tendencias de anomalías positivas, cerca de la zona de pivote descrita en el capítulo referente a Imataca.

Es probable que esta convergencia en forma de cuña represente algún tipo de fragmento de CRV cabalgado por tectonismo o parte de corteza superior que no fue intrusionada por el Complejo Supamo. La gravedad muestra esta misma fractura y cuña en la misma ubicación y con similar disposición, solo que representando longitudes de onda de fuentes más someras. Es probable también, observando el mapa geológico, que realmente sea un trozo de Supamo corrido sobre los CRV, ya que al final de la cuña donde las tendencias convergen, aflora un bloque de Imataca con una compleja situación tectónica de aparente corrimiento.

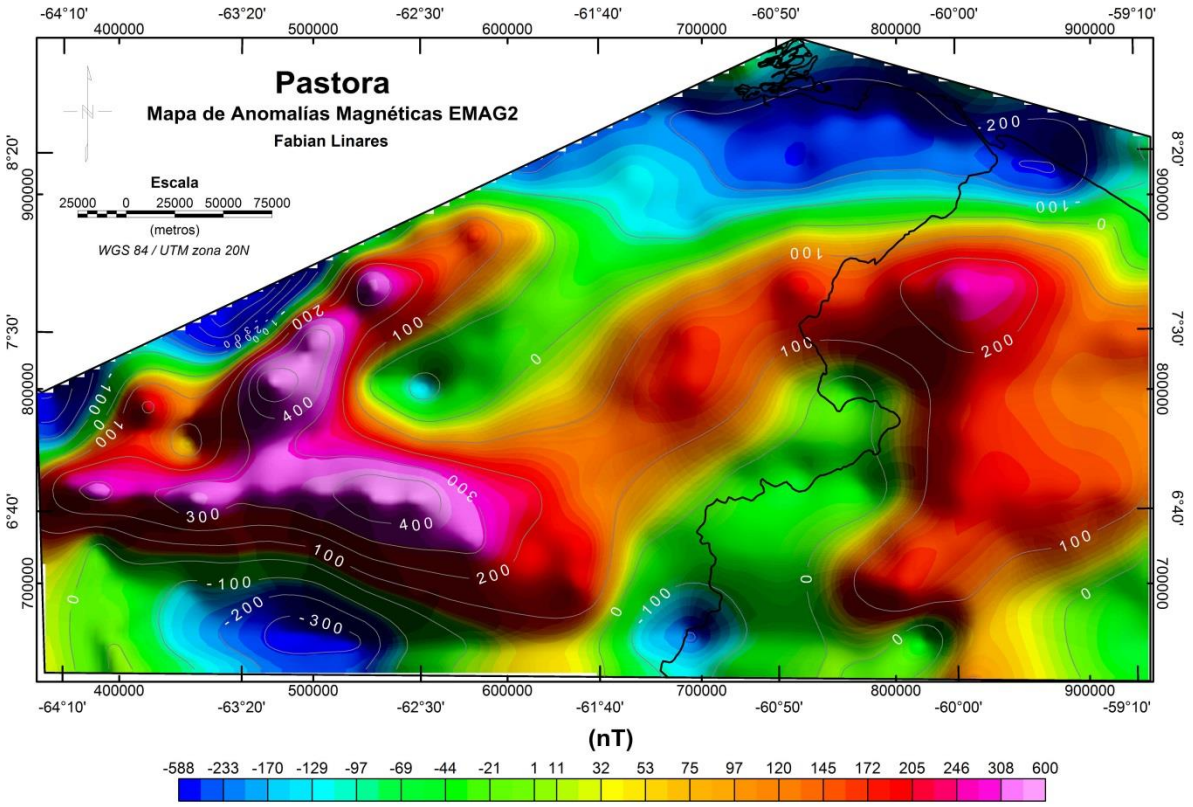


Figura 46. Mapa de anomalías magnéticas del modelo EMAG2 en la provincia Pastora.

El mapa de reducción al ecuador (Figura 47) presenta las anomalías sobre las fuentes que en teoría las genera, donde Imataca aparece con magnitudes negativas de anomalía magnética, Supamo con anomalías de magnitudes negativas y bajas positivas, y los CRV con magnitudes positivas. El rasgo estructural de la cuña hacia el oeste sigue observándose, lo que descarta la posibilidad de ser producto de la descomposición de la anomalía por la inclinación del campo magnético. La conectividad que presenta el noreste de Supamo con

la zona de cuña en el oeste podría sugerir que consiste en una estructura de corrimiento de Supamo sobre los CRV, con máximo de deformación en su frontera norte, que coincide con el afloramiento de rocas metamórficas. En rangos corticales intermedios, esta frontera de magnitudes positivas marcaría el límite de Pastora composicionalmente, al norte de esta, si bien aflora Supamo en una franja relativamente pequeña, se encuentra en un sistema de interacción complejo con Imataca, donde incluso aflora esta última. Si bien puede ser de naturaleza estructural, también puede obedecer a un pequeño sector donde Supamo es intrusivo a Imataca, aun cuando los resultados en el capítulo anterior infieren un contraste evidentemente estructural. Quizás a pesar de estar dominado por sistemas estructurales, es probable que las intrusiones de Supamo se guiaran por estos sistemas para ascender el material fundido.

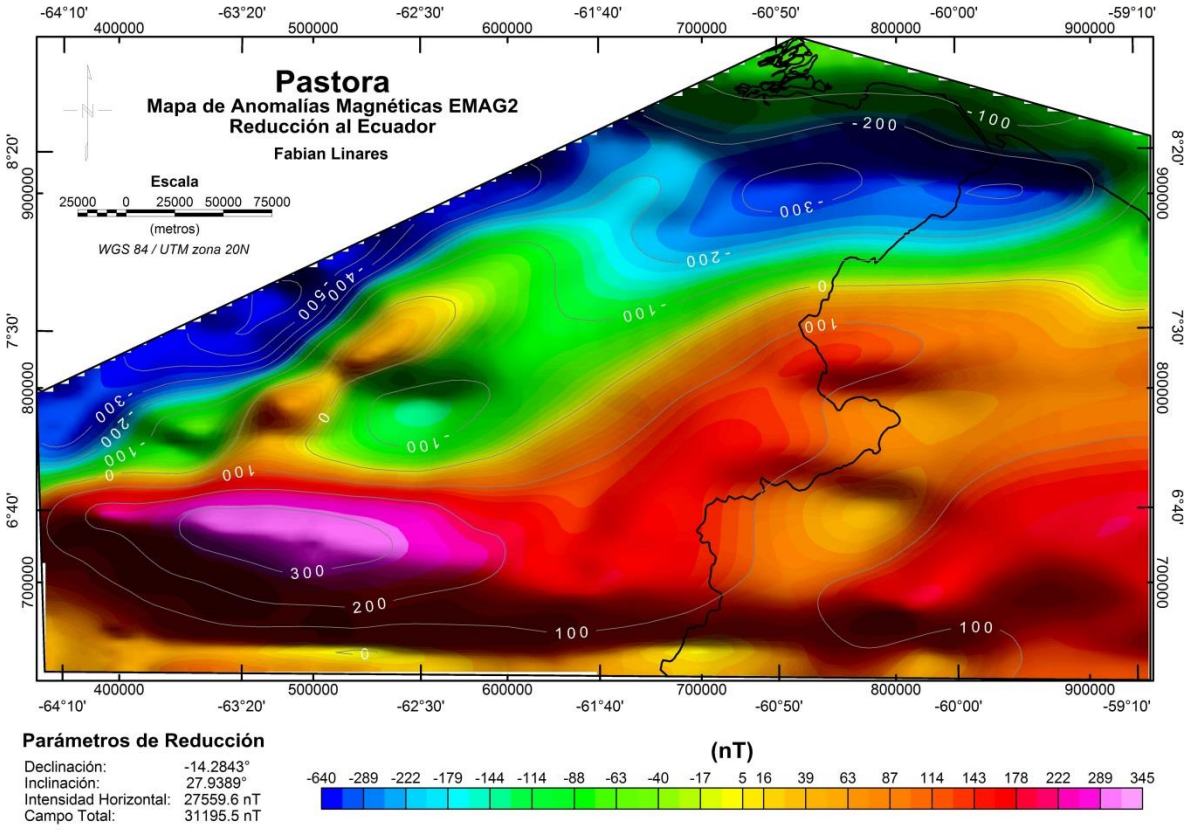


Figura 47. Mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador del modelo EMAG2 en la provincia Pastora.

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL

La separación en esta provincia se realizó mediante filtrado paso-banda a partir de la información del espectro radial de potencia, tomando como fuentes regionales números de onda (*k*) menores a 0,01 rd/km -equivalente a longitudes de ondas (λ) mayores a 100 km-, y fuentes residuales ubicadas entre el rango 0,01 rd/km a 0,2 rd/km -equivalente a longitudes de onda entre 100 km y 5 km-.

El mapa de anomalías regionales de Bouguer (Figura 48) representa estructuras cuya longitud de onda es mayor a 100 km, que reduce la interpretación a la sección cortical más profunda de la corteza. La imagen presenta algunos aspectos que han sido discutidos durante el análisis de las anomalías de Bouguer, tal como la respuesta asociada a Imataca, la influencia de la corteza oceánica hacia el este de la provincia Pastora, entre otras. La novedad que presenta el mapa es que revela el sistema estructural primitivo anterior a la orogénesis Transamazónica, durante el período de separación de los cuerpos de rocas continentales (probablemente Imataca y Kanuku), que permitió la formación de un océano donde se establecieron los CRV. La orientación que presentan estas estructuras en la actualidad es aproximadamente E-O, casi paralelas a la orientación de la falla Guri.

El mapa está divido por zonas donde la influencia de gravedad la marca el Complejo Supamo y otras donde la influencia dominante corresponde a los CRV. Esto no sugiere que a nivel cortical profundo ciertas zonas estén compuestas por rocas similares a Supamo, sino que su efecto gravitatorio regional (por su área) discrepa de las zonas donde probablemente los CRV se encuentren más cerca de la superficie o comprendan un mayor espesor. Lo más probable es que esta corteza inferior profunda se encuentre compuesta por una parte de peridotita y otra por rocas volcánicas máficas, como ocurre en otros CRV. Supamo representa las rocas intrusivas a ellos, a modo de una costra granítica de espesor considerable.

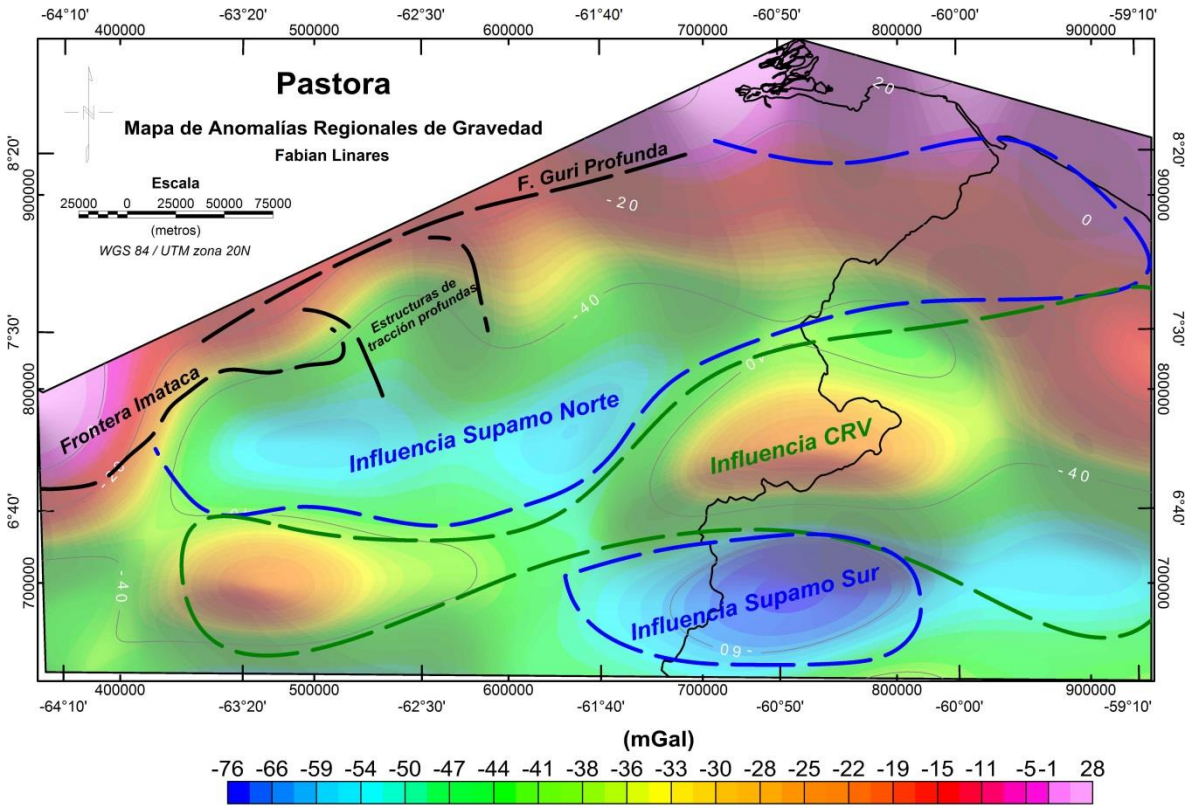


Figura 48. Mapa de anomalías regionales de Bouguer.

Al correlacionar este mapa con la Figura 49, que corresponde con una aproximación esquemática de la paleo-disposición de las provincias, es evidente que los sistemas estructurales que pudieron haberse formado durante esta época coinciden con lo representado por la gravedad, ubicando las rocas más recientes del Paleoproterozoico hacia el centro y envueltas por rocas de mayor edad igualmente del Paleoproterozoico hacia los bordes de las masas continentales. Los CRV, en teoría, decrecen en edad hacia el centro-oeste, debido a que la apertura del mar o ruptura de las masas inicia por el este (relativo a la configuración actual). Al iniciar posteriormente el cierre de este océano, los sistemas estructurales se invierten, quedando zonas con diferencias de espesores y cabalgadas.

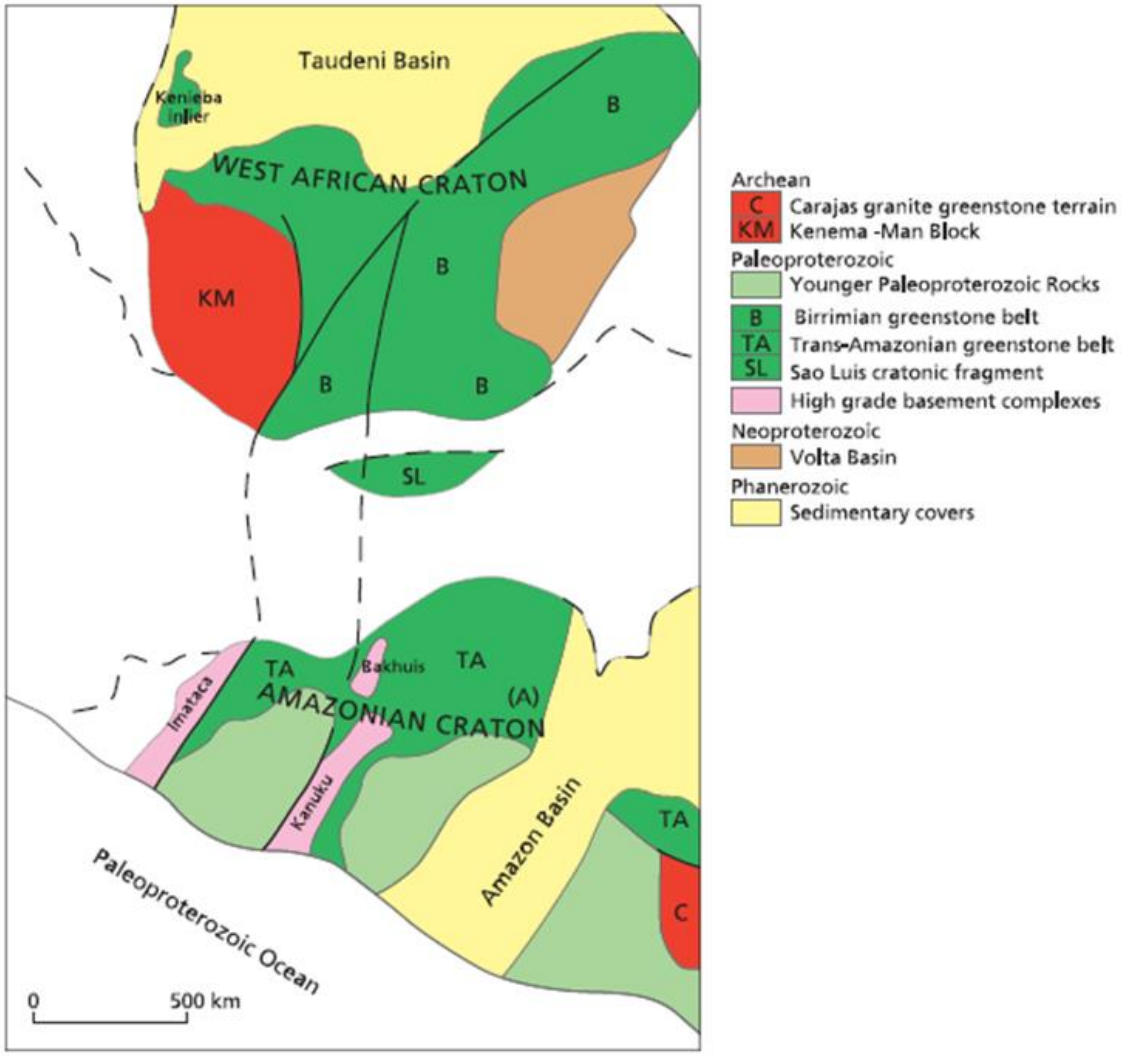


Figura 49. Mapa de correlación de la mitad oriental del Escudo de Guayana con el cratón Africano Occidental. Modificado por Kroonenberg *et al.* (2016) luego de Cordani & Teixeira (2007), adaptado de Nomade *et al.* (2003).

El Complejo Supamo instruye en el sistema completo (Imataca-TTG-CRV) durante este cierre del océano que separaba las masas de Imataca y Kanuku probablemente, en el contexto de la orogénesis Transamazónica. La subducción de Kanuku permitió el ascenso de suficiente material como para permitir este cuerpo intrusivo de gran tamaño.

Sin embargo, el sistema tectónico extensivo solo perduró durante la formación de los CRV y la intrusión de Supamo al parecer, debido a que las estructuras observadas en intervalos de profundidad intermedios a someros (mapa de anomalías residuales de Bouguer, Figura 50) presentan orientaciones dominantes casi perpendiculares a ella. Esto sugiere que las

estructuras e intrusiones posteriores a la etapa de cierre del océano (o cuenca tras-arco) ocurren durante la colisión con el continente africano. Parece ser el momento en el cual la falla de Guri permitió un movimiento diferencial entre Imataca y los CRV junto a Supamo. Esto explicaría la perfecta divisoria que representa la falla Guri hacia el este de Imataca, debido a que es probable que Pastora (como un todo) se desplazara menor distancia que Imataca hacia el oeste (relativo) al África colisionar contra ambas, ya que Imataca en ese momento se encontraba mejor amalgamada, y parte del esfuerzo en Pastora se disipó en la compresión de estas rocas, dando origen a su metamorfismo durante este período. Evidencia del movimiento diferencial es que, a nivel profundo, al norte de Pastora, se encuentran huellas de la tracción por la diferencia cinemática entre ambas, ya que el sistema de subducción y colisión entre el Escudo de Guayana y el cratón Africano Occidental pudo ser curvo e irregular.

La disposición y orientación de las estructuras en el mapa de anomalías residuales de Bouguer (Figura 50) tienen una curvatura cóncava hacia el oeste, sugiriendo que, cual fuese el movimiento o la partición de esfuerzos, Pastora también se movía hacia el oeste como Imataca, pero a diferente velocidad. Otra evidencia es el pivote mencionado en el capítulo anterior, desde el cual la falla de Guri pierde su rectitud y cambia hacia una falla inversa irregular. Los procesos de corrimiento de Imataca sobre Supamo quizás ocurrieron durante esta colisión oblicua. Si bien todo el conjunto estaba en colisión oblicua con África, entre ambas provincias también existía el esfuerzo transpresivo que permitió el corrimiento. Esto es posible si África era de mayor tamaño y con una forma limítrofe cóncava hacia el este, de modo que envolviese a ambas provincias parcialmente obligándolas a tener esfuerzos compresivos entre ellas. De esto ser cierto, también justificaría la disposición curva, cóncava hacia el este, que presentan los CRV en conjunto (en Venezuela. Guyana, Surinam, Brasil y Guayana Francesa). Las estructuras cóncavas hacia el oeste serían producto de retro-corrimiento.

Los altos estructurales que se muestran son precisamente el sistema de estructuras que se infieren, divididos entre sí por surcos. Esto indica que la colisión no alcanzó a amalgamarlo todo. Algunas zonas presentan altos gravitacionales producto de cambios composicionales superficiales, principalmente ubicados donde afloran rocas metavolcánicas máficas.

Adicionalmente, la gravedad sugiere que pudo existir un lineamiento de calor que permitió el ascenso de material magmático: anomalías semi-circulares ubicadas donde aflora casi exclusivamente el Complejo Supamo, siendo identificados en el mapa con círculos color fucsia, alineados casi paralelamente a la orientación de los altos estructurales.

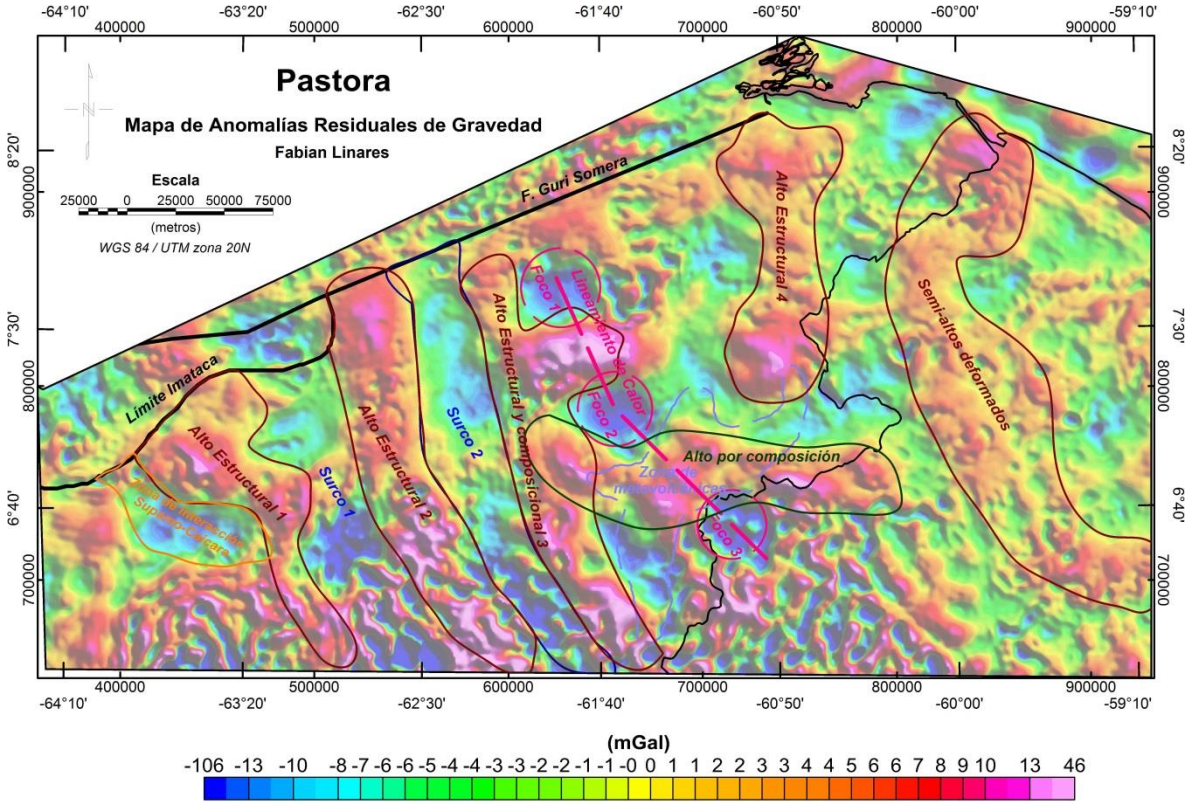


Figura 50. Mapa de anomalías residuales de Bouguer.

El Surco 2 es una zona donde predomina el afloramiento del Complejo Supamo, pero además contiene un conjunto de fallas dispuestas casi N-S, que a su vez sirvieron de canales para la intrusión de diques de diabasa posteriores. En el Surco 1, debido a que en la mitad de este está cubierto por el Supergrupo Roraima, no es posible establecer si está relleno de la misma composición, aunque también se presentan diques de diabasas. La gravedad sugiere solo que el sistema estructural en este Surco 1 podría estar configurado de manera similar al Surco 2, pero con mayores cambios de composición y apertura.

Los semi-altos alineados al este del mapa alternan entre afloramientos de CRV y el equivalente a Complejo Supamo del lado guyanés, pero sugieren que, a nivel cortical, existen patrones de composición alineados con esa dirección.

SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT

En el mapa de señal analítica (Figura 51) aplicado a datos de gravedad se observa que, a nivel de profundidad somero, la provincia de Pastora es diferenciable de las otras circundantes al presentar gradientes menores a 0,0018 mGal/m en promedio, donde Imataca y Roraima se caracterizan por contener gradientes mayores (entre aproximadamente 0.0023 mGal/m y 0.0045 mGal/m para Imataca, y mayores a 0.0045 mGal/m para Roraima). No obstante, Pastora presenta zonas de gradiente mayor al mencionado en localidades particulares, cada una de las cuales están marcadas en color azul y numeradas para su análisis. Hacia el norte del mapa, la falla de Guri y el límite occidental de Imataca marcan el cambio de dominio de magnitudes, siendo la zona de pivote el origen de un lineamiento de ruptura delineado en color rojo que corre casi N-S, que marca un conjunto de litologías que difieren a Supamo, pertenecientes a CRV, y que se extiende hasta el Supergrupo Roraima.

Lo que encierra la línea color púrpura consiste en el límite aflorante aproximado del Supergrupo Roraima, zona que presentará su caracterización en un capítulo posterior. Sin embargo, las localidades limítrofes de Roraima con Pastora serán estudiadas en este apartado. La línea color amarillo oscuro considera un conjunto de gradientes alineados que coincide grosso modo con la orientación inferida del patrón de zonas de calor mencionado anteriormente cuando se analizaba la Figura 50.

La zona 1 se ubica en ambos países (Venezuela y Guyana), las litologías que comprende del lado venezolano son: cuarzo-monzonitas (Xgr), esquisto andesítico-anfibolítico (Xa), Complejo Supamo (Xsp) y rocas metavolcánicas (Xm1), todas ellas del Proterozoico temprano. Del lado guyanés contiene granitoides equivalentes a Supamo y rocas metabásicas de CRV, pertenecientes al Supergrupo Barama-Mazaruni. Estas rocas metabásicas sugieren ser la prolongación de las metavolcánicas (Xm1) venezolanas, pertenecientes a los CRV. La disposición que presentan los gradientes agrupados en esta zona 1 es SO-NE, paralela a la disposición que presentan estas rocas metavolcánicas del CRV. Por lo tanto, esta zona representa el cambio litológico (influido o no por tectonismo) entre CRV y Supamo. En el mapa de anomalías residuales de Bouguer, la zona 1 presenta

bajas anomalías, que agrupadas tienen la misma disposición, ubicadas entre dos altos estructurales intracorticales perpendiculares a ellas.

Al comparar las tendencias en los mapas de gravedad con los mapas geológicos, surge la necesidad de diferencias dos características notorias: a) la disposición que presentan las litologías en grandes escalas son OSO-ENE; b) la estructura cortical intermedia a somera es de orientación NO-SE, es decir, la orientación de los esfuerzos tectónicos posteriores a la intrusión de Supamo es casi paralela. Esto permite discernir entre lineamientos observados por cambios litológicos de los que son producto de estructuras tectónicas que modifican las interfases, mueven y fracturan bloques.

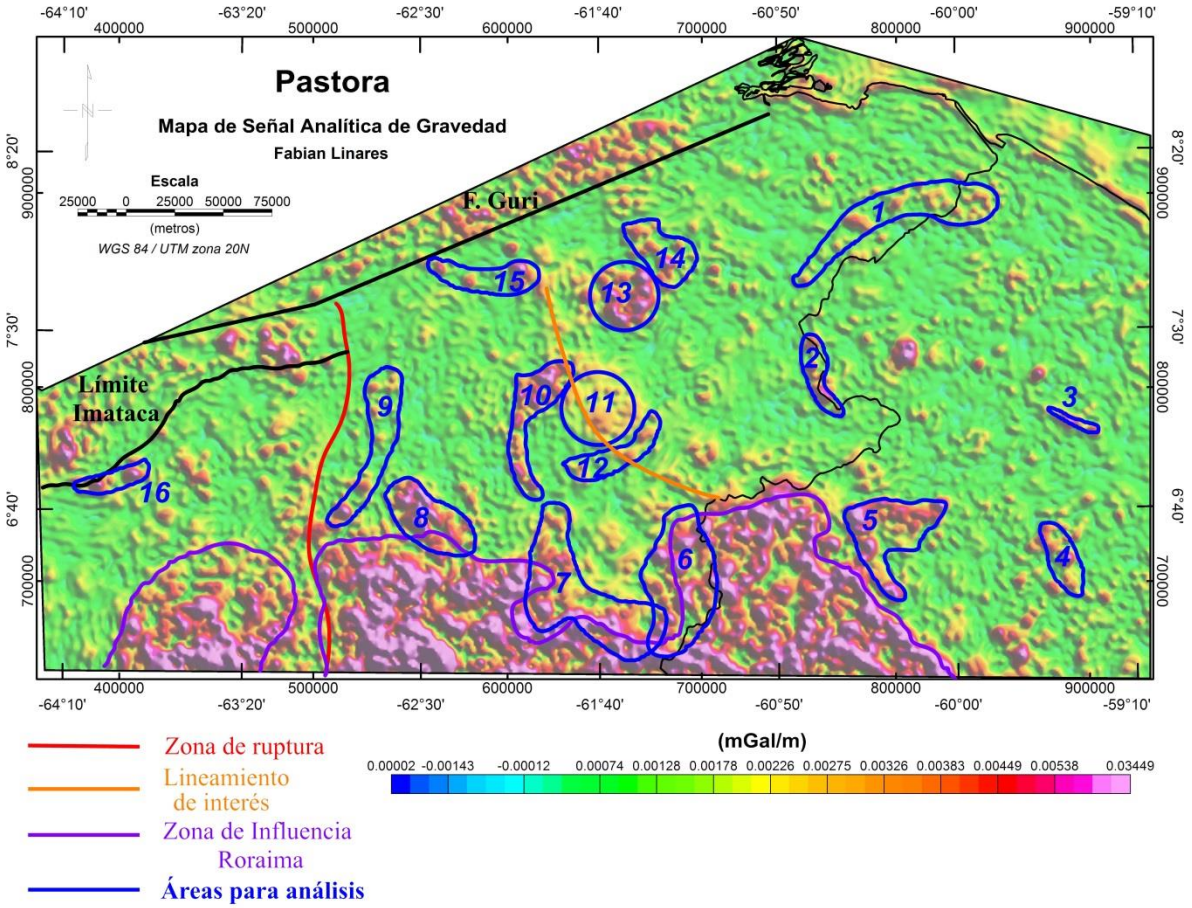


Figura 51. Mapa de señal analítica de gravedad en provincia Pastora.

La zona 2 consiste en gradientes de alta magnitud orientados NNO-SSE, ubicados justo sobre la frontera entre ambos países. En esta sección afloran rocas de flujo volcánico y metatobas silíceas (Xf1), rocas metavolcánicas (Xm1), algunas metalavas máficas a

intermedias y metatobas (Xm2), todas del Proterozoico temprano del lado venezolano perteneciente a CRV. Del guyanés, afloran rocas metasedimentarias y metavolcánicas de CRV del Supergrupo Barama-Mazanuri. El alto gradiente observado obedece principalmente al contraste composicional que existe entre todas las litologías mencionadas, donde rocas de baja densidad relativa se encuentran en contacto abrupto con rocas de mayor densidad en un área de dimensiones reducidas. La disposición de los esquisto andesítico-anfibolítico (Xa) obedecen al metamorfismo de contacto por la intrusión de Supamo, fracturadas posteriormente por sistemas de fallas locales. La zona está localizada sobre un alto estructural del mapa de anomalías residuales de Bouguer y la zona de mayor influencia gravitacional de los CRV del mapa de anomalías regionales de Bouguer. Esta zona podría formar parte del sistema central o de mayor espesor de CRV.

El área 3 representa el gradiente de gravedad ocasionado por una intrusión de diabasa en territorio guyanés, rodeada de afloramientos de rocas metavolcánicas y metasedimentarias de CRV y granitoides (equivalentes a Supamo). En el mapa de anomalías residuales de Bouguer, este cuerpo presenta anomalías de baja magnitud entre -13 mGal y -14 mGal, que difieren discretamente con los rangos de -10 mGal a -5 mGal de los granitoides y 2 mGal a 7 mGal de los CRV que circundan.

El polígono 4 se ubica en un sector de alta complejidad estructural y composicional. Allí afloran numerosos diques de diabasas, embebidos en rocas de CRV con dominio metasedimentario y en menor grado metavolcánico. La conducta gravitatoria de las diabasas depende de la roca que rodea, por ejemplo: donde existen diabasas rodeadas de Complejo Supamo, las anomalías tienden a ser bajas (roca caja de mayor densidad que el intrusivo), por otra parte, donde la roca circundante es perteneciente al Supergrupo Roraima, la anomalía por el contrario tiende a ser relativamente más alta (roca caja de menor densidad que el intrusivo).

En la zona 5, las litologías aflorantes comprenden granitoides equivalentes al Complejo Supamo y rocas del CRV. La forma triangular que presenta la misma es posiblemente producto de una falla que atraviesa diagonalmente en dirección NO-SE. El trazo de esta falla se puede seguir por la bisectriz del triángulo desde su vértice oeste. A su vez, la parte

sur del mismo triángulo está influenciado por un sistema estructural que corre en sentido perpendicular SO-NE al mencionado.

El área 6 se encuentra compuesta por rocas del Complejo Supamo (Xsp), del Grupo Inferior Roraima (XYrc), metagabros de CRV (Xg1) y diabasas (YMd) de la suite Avanavero. Este bloque se encuentra en el territorio venezolano, cuyo límite oriental es la frontera con Guyana. Todos los cuerpos individuales (diabasas y metagabros) presentan altos gradientes que rondan los 0,01 mGal/m en promedio, que difieren de las magnitudes donde aflora el Complejo Supamo. La frontera occidental está delimitada por el afloramiento de metalavas máficas a intermedias y metatobas (Xm2), las cuales presentan gradientes poco marcados.

El polígono 7 contiene esquistos-filitas-rocas metavolcánicas (Xs1), rocas del Complejo Supamo (Xsp), esquisto andesítico-anfibolítico (Xa), rocas metavolcánicas (Xm1), metagabros del CRV (Xg1) y rocas ultramáficas (Xu1) del Proterozoico temprano, junto a rocas del Grupo Inferior Roraima (XYrc) del Proterozoico temprano a medio y diabasas (YMd) del Proterozoico medio al Mesozoico. En el sector, los gradientes se encuentran influenciados por el cambio abrupto composicional somero que presenta la provincia Roraima, aunado a los cambios de relieve que tienen efecto en la gravedad y las diferentes litologías inmersas en Supamo. Las rocas que allí se exhiben, con alta proporción de rocas metamórficas de tipo regional, son evidencia del sometimiento de las mismas a procesos tectónicos, afectadas por procesos de metamorfismo de contacto cuando otras litologías intruyeron. Las áreas 6 y 7 se encuentran separadas por el afloramiento de las metalavas máficas a intermedias y metatobas (Xm2), las cuales generan en el mapa residual anomalías de alta magnitud con poca variación de composición interna, sugiriendo que es probables que esta represente un espesor considerable. Al norte de la zona 7, inicia el afloramiento de metagabros (Xg1) que se prolonga en dirección casi N-S por la zona 10, hasta alcanzar un sistema de cambios composicionales dominados por sistemas tectónicos dispuestos en dirección NE-SO. Estos rasgos indican la existencia del tectonismo inferido anteriormente, donde a nivel cortical intermedio a somero, la orientación de las estructuras es casi N-S. Las diabasas parecen haber aprovechado antiguos sistemas de falla para el ascenso de material en algunos sectores, principalmente en aquellas ubicadas en el surco 2 que corren paralelas a los sistemas estructurales de la zona 10.

La zona 8 en el mapa se encuentra ubicada tal que los gradientes que muestra son principalmente producto del afloramiento de rocas metavolcánicas (Xm1) en contraste con algunos relieves que exhiben rocas del Grupo Roraima y la roca circundante predominante del Complejo Supamo (Xsp). Los patrones estructurales a su vez corren en dirección casi N-S, con presencia de algunas diabasas cuyo patrón es similar.

La zona 9 comprende un conjunto de gradientes generados por diques de diabasas y cuarzo-monzonitas. Este sector se encuentra justo al este de la ruptura inferida, que es demarcada con el afloramiento de rocas metamórficas Xs1 (esquistos, filitas y metavolcánicas). Al ser las mismas del Proterozoico temprano, podrían ubicarse cercanas al límite entre las provincias Pastora y Cuchivero. A partir de la técnica de señal analítica es poco probable establecer el límite que divide las provincias debido a que Roraima genera altos gradientes que apantallan la respuesta más regional de esta frontera. Por el afloramiento de rocas de Caicara en la región ubicada entre -61,5° y -61° de longitud a 4,5° de latitud en el mapa geológico de Venezuela, se infiere que la disposición regional de la frontera debe ser NO-SE cóncava hacia el suroeste, dispuesta por debajo de Roraima. Por lo tanto, es probable que las rocas metamórficas Xs1 se prolonguen en extensión por debajo de Roraima de igual manera. La forma arqueada que presentan estas rocas metamórficas puede inferir que el lineamiento estructural que sufrió en mayor grado la compresión hacia el norte fue doblado por la tracción transpresiva, al encontrar mayor competencia con la provincia Imataca. El bloque de Complejo Supamo al noroeste de estas rocas metamórficas parece ser producto de corrimiento, debido a que estas rocas Xs1 a su vez marcan el inicio del pivote en su extremo norte, zona donde la partición de esfuerzos fue diferente al resto debido a la competencia de las masas.

Una posible evidencia de la discrepancia en el sistema de esfuerzos lo representa la zona 16, cuyos gradientes son producto de un sistema de fallas orientado ESE-ONO, casi paralelo a la frontera de Imataca, donde afloran esquistos andesíticos-anfibolíticos cortados por una falla perpendicular que desplaza diferentes cuerpos de roca hacia el norte, de aparente cinemática sinestral (en mapa geológico de Hackley *et al.* 2006). La masa de Imataca no permitió que el desplazamiento fuese mayor y, por ende, se generaron sistemas semi-paralelos de corrimiento hacia el sur de Imataca. Por este motivo lo más probable es

que todos los afloramientos de Complejo Supamo ubicados al oeste de la zona de ruptura mencionada fueron corridos sobre Caicara, y a su vez, infrayacentes de poca penetración a Imataca.

El área 10 concierne a metagabros de los CRV (Xg1), esquisto anfibolítico-andesítico (Xa), ultramáficas (Xu1) y Supamo (Xsp). La naturaleza metamórfica de la mayoría de ellas sugiere la combinación en diferentes etapas de metamorfismo por tectonismo y por contacto. A rasgos generales, cabe destacar que la disposición que presenta esta zona es muy similar a la curvatura que presentan los altos estructurales interpretados en el mapa de anomalías residuales. La frontera occidental de este sector presenta el cambio de orientación estructural que suele observarse a medida que la provincia se acerca al límite con Imataca. En el interior del polígono corre una falla de marcada influencia que divide dos familias de gradientes de alta magnitud. Al oeste de esta falla, la litología dentro del bloque es predominantemente esquistos andesíticos-anfibolíticos (Xa), mientras que hacia el este la litología alterna entre metagabros (Xg1) y Fm. El Callao (Xcec) de CRV junto a algunas diabasas (YMd). Al analizar la frontera norte del polígono, se observa que el sistema tectónico se extiende hacia el noroeste con fallas semi-paralelas a la descrita, que afectan a la Formaciones Cicapra (Xcci), Yuruari (Xys) y una pequeña extensión de El Callao (Xcec). Las Formaciones El Callao y Cicapra pertenecientes al mismo Grupo Carichapo del Proterozoico Temprano y presentando a ambos lados de la falla principal una morfología similar, la cinemática aparente de la falla principal en esta zona 10 es sinestral.

La zona 11 consiste en una peculiaridad del mapa de gradientes, ya que donde se ubica, no hay “teóricamente” nada más excepto rocas del Complejo Supamo, y no obstante, presenta una acumulación de gradientes de magnitud media que no concuerda con el resto del complejo en superficie. Tampoco se observan rasgos topográficos que conlleven a inferir alguna influencia de relieve en la gravedad. Este conjunto de gradientes también aparece hacia el norte y hacia el sur, dispuestos acorde a la línea color amarrillo oscuro en el mapa (Figura 51). Esta ubicación coincide con las zonas de calor por donde quizás las rocas que componen Supamo ascendieron o algún lineamiento volcánico.

La zona 13 presenta gradientes de alta magnitud producto del afloramiento de un sill de diabasa que discrepa de la gravedad generada por el Complejo Supamo que circunda. El

área 14 comprende un bloque de cuarzo-monzonita (Xgr) fallado. Sus gradientes están dispuestos según la influencia de las fallas que atraviesan el bloque. La zona 15 consiste en el límite sur de lo que probablemente es un bloque levantado por tectonismo en respuesta a la transpresión. El sistema de fallas que domina al mismo parece encontrarse con la falla de Guri en su extremo occidental.

El mapa de derivada Tilt de gravedad (Figura 52) muestra tanto la disposición de los bloques por cambios de composición como por estilos estructurales. El Complejo Supamo en el mapa tiende a mostrar ángulos de magnitud negativa, mientras las rocas pertenecientes a uno u otro CRV tienden a mostrar ángulos de magnitud positiva. Esta diferencia es primordial para entender la configuración estructural y composicional de la corteza, y a su vez, la mezcla que existe a nivel de anomalías entre contrastes por composición y contrastes por estructuras. Las líneas de círculos verdes corresponden con los límites de aquellas localidades donde la corteza (al menos en su parte superior) está compuesta principalmente por CRV. La disposición que exhiben se agrupan en 5 bloques principales (homogéneos o no): 1) y 2) corresponden con altos estructurales, de composición variable, predominantemente metamórficos, con sistemas estructurales internos con orientación NNE-SSO, estando ambos bloques separados por un surco de fallas con orientación NNO-SSO que sugiere ser de régimen extensivo invertido posteriormente; 3), 4) y 5) son bloques también de composición variable, orientados preferencialmente ESE-ONO, influidos por sistemas de falla internos de dirección SO-NE, separados entre sí por sistemas estructurales regionales. El mapa revela que la disposición preferencial en la cual fueron depositados los CRV es SO-NE, donde el Complejo Supamo intrusionó en la sección norte del conjunto de cinturones principalmente. Posteriormente, algún evento tectónico hizo que la provincia se fracturara desde el norte en un contexto de colisión por el este, y adquiriese la forma curva que hoy presenta en el Cratón Amazónico cóncava hacia el este, siendo el extremo occidental venezolano la zona de bisagra que permite la creación de sistemas de ruptura perpendiculares y la falla de Guri fungiendo como riel transportador, donde los surcos se encuentran rellenos de Supamo y los altos consisten en las formaciones primitivas de los CRV que componen el basamento de toda la provincia. La compresión ejercida al finalizar la rotación ocasiona que muchas de las

estructuras se inviertan y la provincia se comprima, generando el metamorfismo regional de bajo grado que presentan algunas zonas.

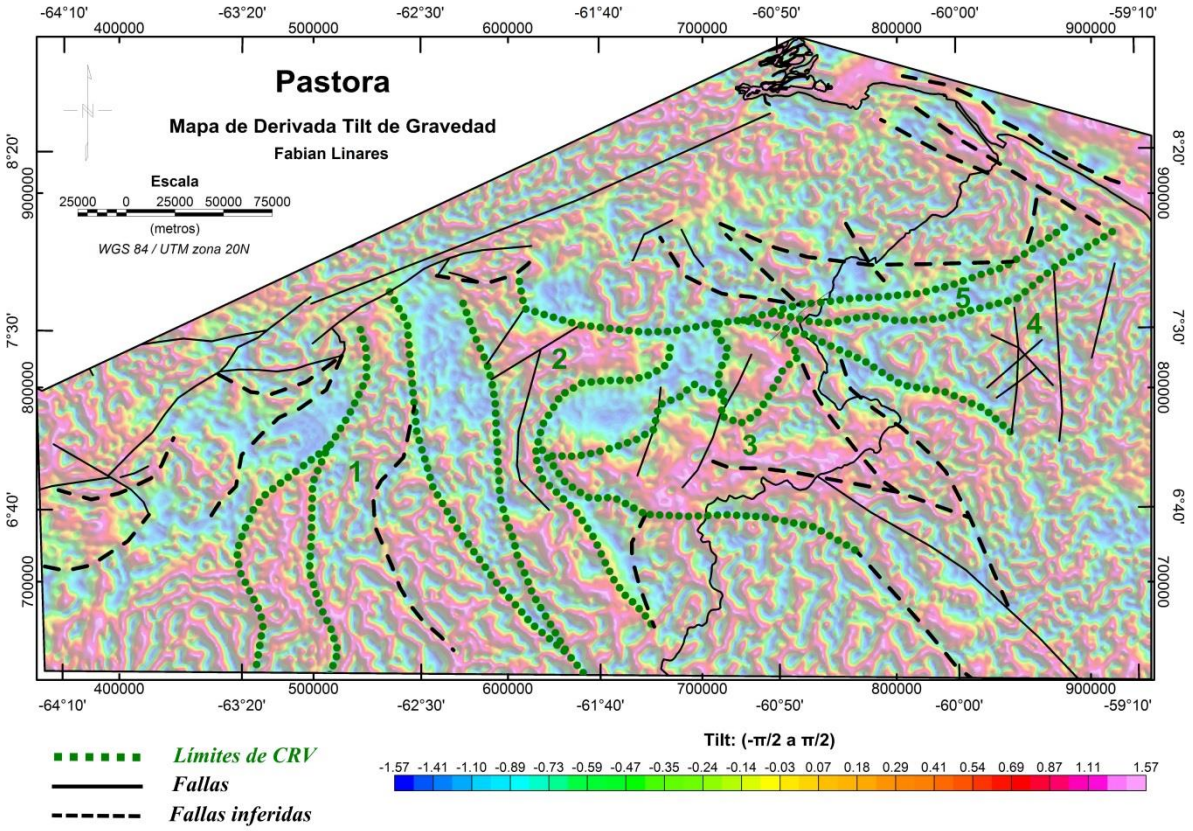


Figura 52. Mapa de derivada Tilt de gravedad en provincia Pastora.

Como se ha mencionado anteriormente, la resolución del dato magnético (por las características de origen de su modelo) establece estructuras corticales intermedias a profundas principalmente. Por ello, los altos gradientes se encuentran básicamente representando los mayores contrastes magnéticos producto de cambios de composición asociados a tectónica, es decir, zonas donde las litologías puestas en contacto podrían deberse principalmente a movimientos de bloques tectónicos (Figura 53). Existe un cambio notable de orientación de estas a partir del meridiano -61.2, siendo la disposición de las estructuras acordes con un sistema de rotación y apertura o fractura proveniente del norte, con esfuerzos compresivos desde el este, lo que concordante con los resultados gravimétricos.

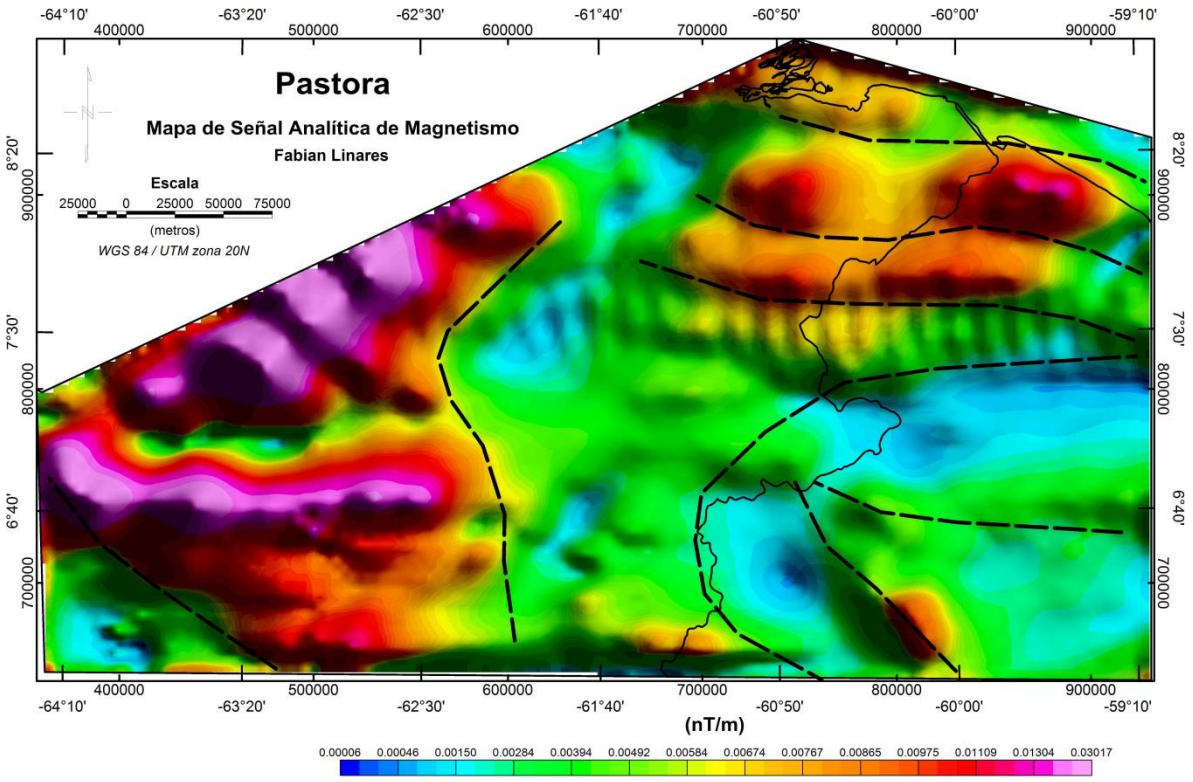


Figura 53. Mapa de señal analítica de magnetismo en Pastora. Líneas de guiones negros: principales sistemas estructurales inferidos.

Hacia el oeste, la disposición de la provincia podría ser NO-SE, con sistemas de retro-corrimiento que exhiben lineamientos en sentido aproximado E-O. El centro del mapa está caracterizado por un sistema estructural y composicional dispuesto N-S. El este comprende una zona de complejidad estructural mayor, donde las estructuras se encuentran dispuestas NO-SE, con una zona de bisagra en la locación 60,8ºO/6,6ºN. Esto soporta la hipótesis de los eventos tectónicos comentados. Los gradientes de magnitud positiva para este caso se encuentran asociados a rocas pertenecientes al Complejo Supamo y los gradientes de magnitud negativa estarían asociados principalmente a composición CRV, todo ello a nivel intracortical intermedio. Se puede observar que a estos niveles de profundidad el Complejo Supamo reduce su extensión de influencia, pudiendo establecer que el mismo no se extiende mucho más abajo que estos niveles en profundidad. Lo que subyace a la intrusión de Supamo probablemente es un conjunto de varios CRV alterados por la temperatura y presión a estos niveles de profundidad.

El mapa de derivada Tilt de datos magnéticos (Figura 54) muestra consistencia con el sistema tectónico evolutivo propuesto. Sin embargo, los ángulos que muestra la técnica aplicada corresponden con estructuras más profundas que las representadas por la señal analítica. En el mismo, la orientación que presenta el Complejo Supamo es referente a la curvatura que se infiere a partir del evento tectónico que ocasiona la rotación o curvatura de la provincia. Las propiedades magnéticas intracorticales son variables, lo que conduce a sugerir que se encuentra formada por más de un cinturón verde.

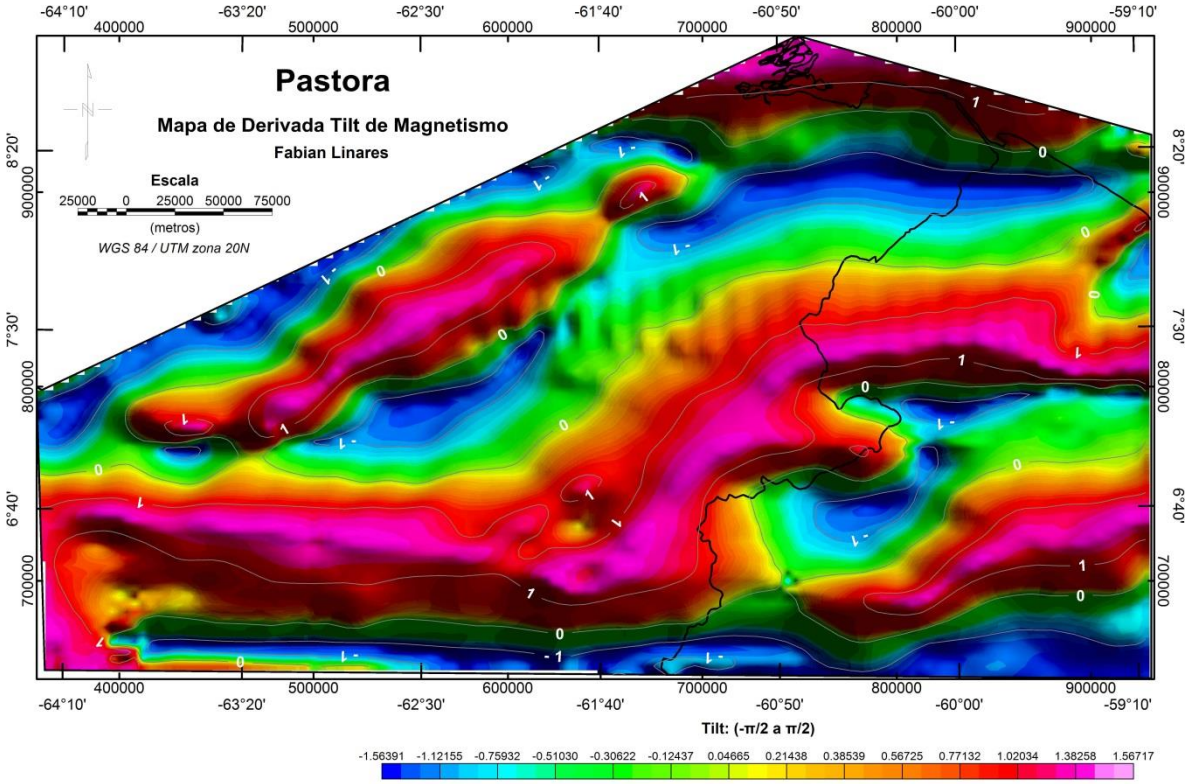


Figura 54. Mapa de derivada Tilt de magnetismo en Pastora.

DERIVADAS DIRECCIONALES

Los mapas de derivadas direccionales del campo magnético (Figura 55 y Figura 56), tanto en componente vertical como horizontal, dividen la región que comprende la provincia de Pastora en varios sectores con tendencias y sistemas estructurales posiblemente diferentes. Aunque solo en la Figura 55 se dividen las regiones, el análisis aplica a ambas figuras. Los estilos estructurales y patrones de composición se observan con la misma disposición en

ambos casos. El gradiente E-O al sur de ambas figuras parece ser producto de artificio matemático por la aplicación del filtro, ya que se encentra muy cerca del límite donde no existen datos del modelo EMAG2 hacia el suroeste del mapa.

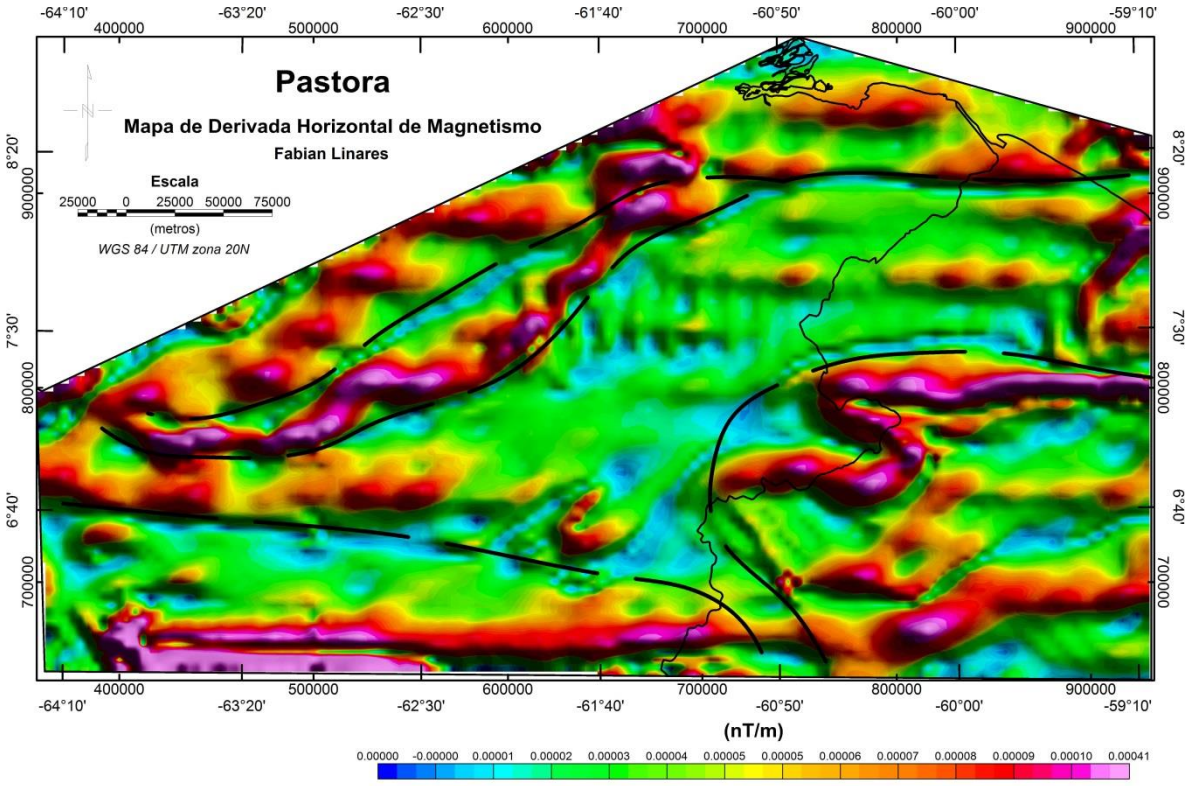


Figura 55. Mapa de derivada horizontal de magnetismo en Pastora.

Hacia el sureste de ambos mapas se observa un límite en forma de bisagra, que comprende diferentes litologías, probablemente a cambios internos en los CRV junto a algunos intrusivos de Supamo, aun cuando el área no se encuentra en la principal influencia de este complejo. Hacia las fronteras con Imataca los gradientes presentan al menos dos lineamientos estructurales asociados a fallas regionales. El más septentrional que se extiende a través de todo el mapa de este a oeste podría representar la frontera aproximada de influencia del Complejo Supamo. Es probable que, hacia el este, al norte de este lineamiento, se prolongue la provincia de Imataca, aun cuando a través de estudios geológicos esto no haya sido sugerido. Los rasgos profundos producto de la tracción trascurrente entre Imataca y Pastora siguen apareciendo. El corredor de forma sigmoidal que atraviesa los mapas de centro-oeste a noreste parece estar compuesto en su mayoría por rocas pertenecientes al Complejo Supamo, al menos a niveles corticales superiores. Este

corredor a su vez se extiende hacia el norte de Guyana, tal como el mapa geológico simplificado del Cratón Amazónico sugiere, con el afloramiento de granitoides y migmatitas correlacionadas a Supamo. Debido a que la intrusión de Supamo es irregular, gradientes correspondientes a contrastes entre granitoides y rocas del CRV aparecen a lo largo del corredor con longitudes de onda pequeñas y de relativa baja magnitud.

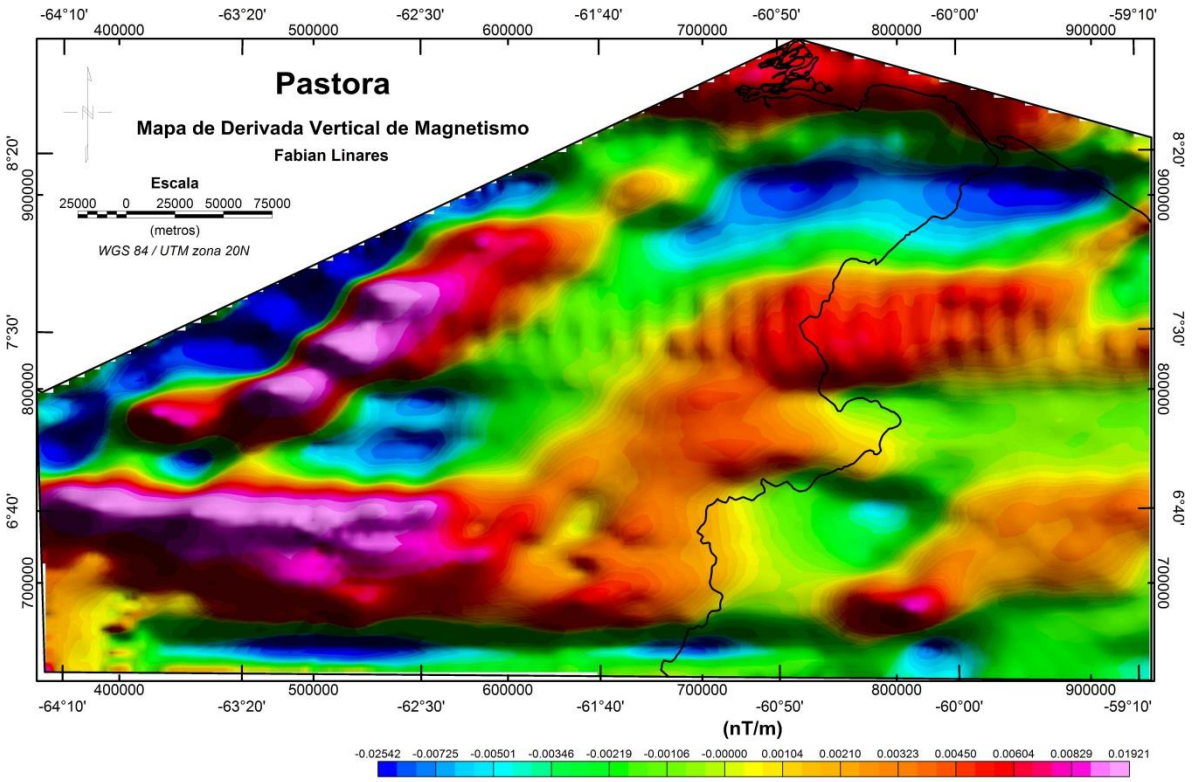


Figura 56. Mapa de derivada vertical de magnetismo en Pastora.

El dato de gravedad presenta resolución mucho mayor que el dato del modelo magnético, es por ello que los gradientes son mucho más pequeños e irregulares. Ambas derivadas aplicadas a los datos de gravedad se representan en las Figura 57 y Figura 58, de las cuales destaca la consistencia de la disposición del Complejo Supamo respecto al dato magnético. En ambos mapas la provincia de Roraima, tanto del lado venezolano como guyanés, impide la caracterización en profundidad del contacto entre Pastora y Cuchivero (o Caicara), al menos con estas técnicas para gradientes.

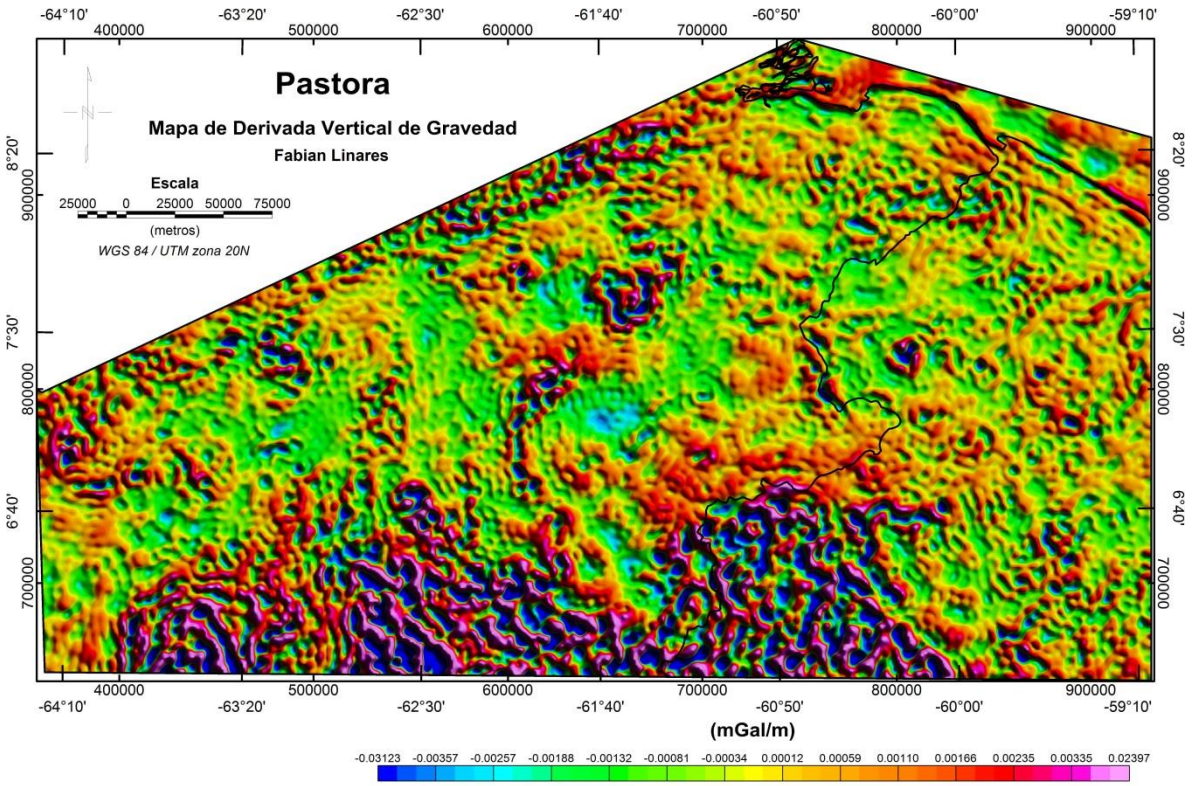


Figura 57. Mapa de derivada vertical de gravedad en Pastora.

Se observan patrones de gradientes que sugieren rupturas extensivas dispuestas NO-SE (al menos 2) que parecen encontrarse por debajo de Roraima. La fase de creación de tales surcos deben ser pre-Roraima, es decir, el evento tectónico que dobla y fractura a la provincia en conjunto debió ser previo o sincrónico al depósito de Roraima. Ya que estos surcos parecen estar rellenos por Complejo Supamo. En ambos mapas, para más evidente en la Figura 57, se observa la zona de inflexión donde la orientación de la provincia cambia sobre la frontera entre ambos países.

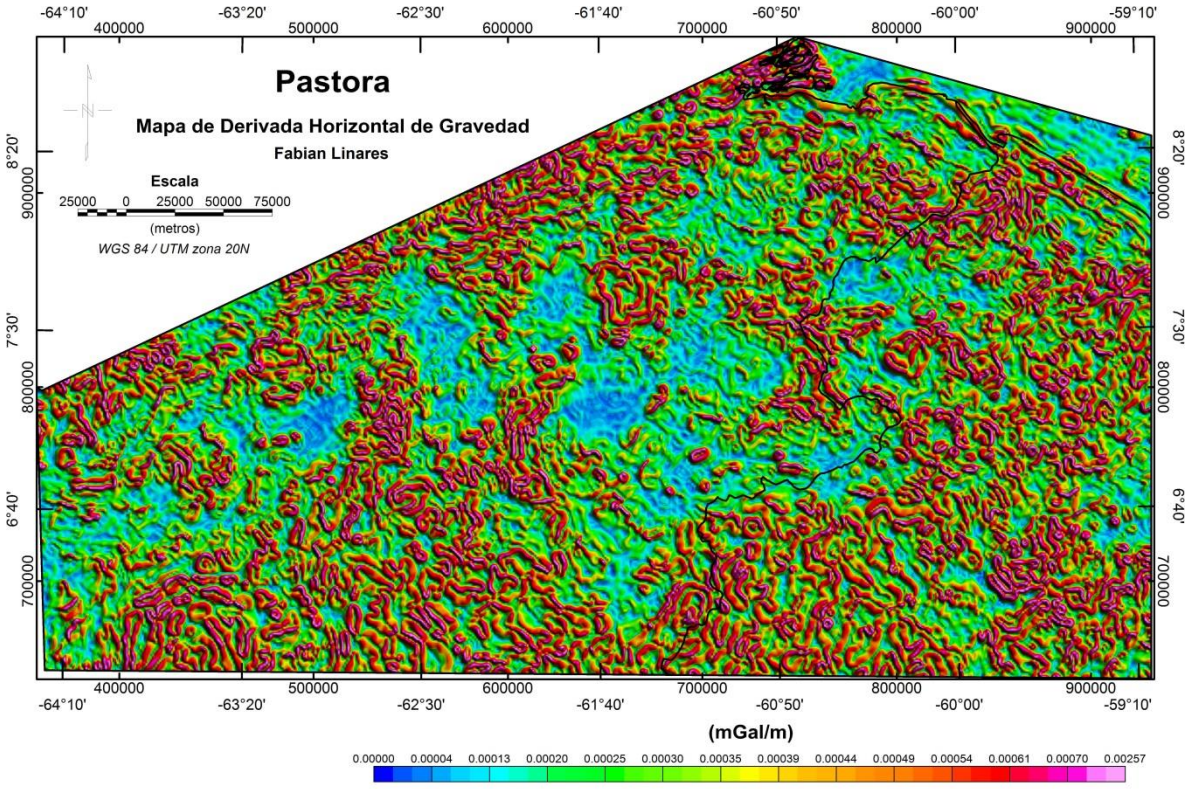


Figura 58. Mapa de derivada horizontal de gravedad en Pastora.

DECONVOLUCIÓN DE EULER

Los índices estructurales producto del análisis de fuentes localizadas (Figura 59) demarcan a través del valor cero (SI=0) las zonas que presentan contactos, diques y capas que difieren en composición con el contexto, distribuidos en zonas donde afloran principalmente los diques de diabasas y cambios de composición producto de metamorfismo de contacto y corrimiento. En términos generales, la orientación que presenta la acumulación de estos puntos en diferentes localidades sigue patrones NO-SE, esencialmente desde el meridiano 60,8ºO hacia el oeste, ubicados justo sobre contactos de rocas pertenecientes a CRV; hacia el este del mencionado meridiano, la orientación de las acumulaciones de puntos es próxima a SO-NE, con excepción de la zona sureste de la figura, donde producto de la tectónica imperante y la disposición de la provincia tiene orientación similar a la zona occidental. Estos contactos simples que representan los puntos de SI=0 se encuentran en menor cantidad que los SI=1, siendo estos últimos preponderantes hacia el noreste del

mapa. Estos puntos se encuentran principalmente sobre rocas del CRV en Venezuela, en lineamientos estructurales en el nororiente del mapa, en los contrastes entre la provincia Roraima y sus alrededores, y hacia Guyana en los límites de los CRV de composición metasedimentaria y metavolcánica. El índice estructural SI=1 representa que solo una de las dimensiones de la fuente es infinita o inestimable.

Las soluciones de índice dos (SI=2) son más escazas, y se encuentran en medio de litologías que parecen ser intrusivas a nivel cortical. Hacia Venezuela se encuentran en medio de lineamientos de diabasas, en rocas metamórficas de contacto y sobre el eje del Grupo Carichapo. En Guyana están presentes en los intrusivos del Grupo Avanavero, en algunos diques y en los límites de los granitoides.

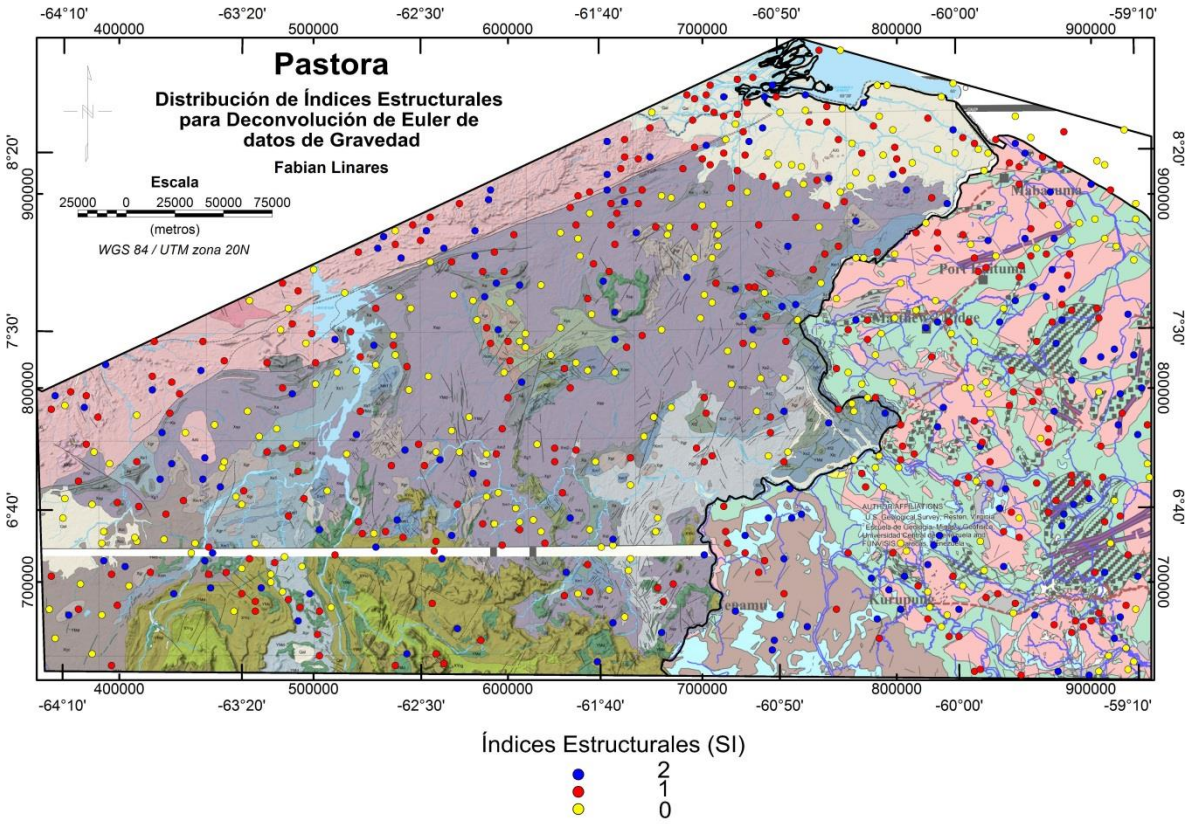


Figura 59. Mapa de distribución de índices estructurales para deconvolución de Euler en datos de gravedad de Pastora.

Las soluciones de Euler utilizando SI=0 muestran contrastes de composición mayoritariamente en el primer kilómetro de profundidad (Figura 60), sugiriendo la gran cantidad de anomalías de corta longitud de onda que presentan los datos, producto de

patrones estructurales y alteraciones de composición a niveles someros. El intervalo de soluciones entre 1-2 km de profundidad se encuentra localizado en zonas interiores a bloques concisos. Las soluciones de mayor profundidad se asocian a contrastes posiblemente sub-verticales o bloques de rocas con mayor espesor ligados a localidades con rocas de CRV aflorantes.

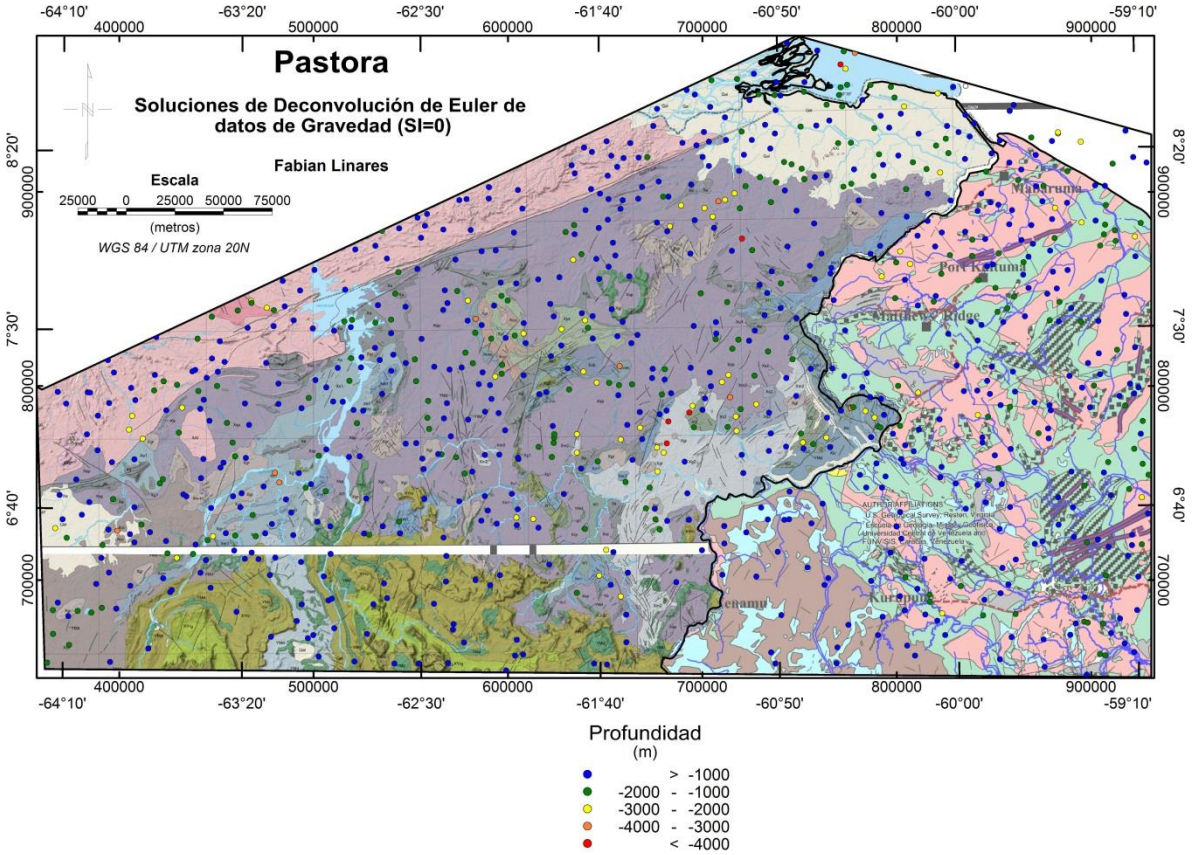


Figura 60. Mapa de soluciones de deconvolución de Euler, SI = 0.

En las Figura 61 y Figura 62 la mayoría de soluciones se ubican cerca de cambios abruptos de litología bien diferenciados en superficie, principalmente en los cambios entre Complejo Supamo y CRV. Las soluciones de mayor profundidad (mayores a 6 km) se ubican en zonas donde el mayor contraste podría estar asociado a contactos intracorticales de cambios litológicos internos a los CRV. La mayoría de los cuerpos bien definidos presentan soluciones en el rango entre 2-4 km de profundidad. La concurrencia de soluciones en Complejo Supamo entre 2 km y 8 km permite una visión de los lugares donde este

Complejo presenta mayor o menor espesor, siendo Supamo más profundo entre longitudes 62ºO a 60,5ºO del lado venezolano.

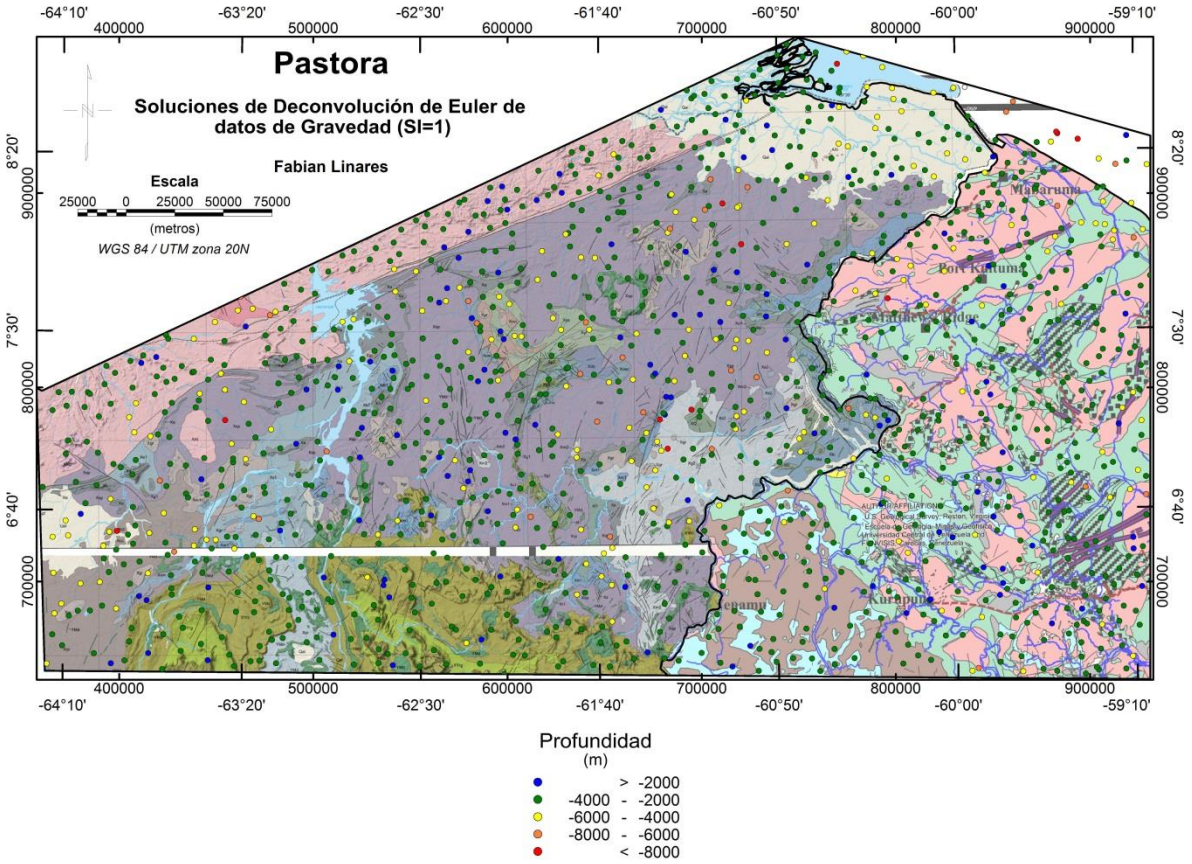


Figura 61. Mapa de soluciones de deconvolución de Euler, SI = 1.

Hacia Guyana, las rocas equivalentes a Supamo muestran sus mayores espesores hacia el norte, que concuerda con la hipótesis de lineamiento intrusivo hacia el norte de los CRV. A su vez, los cambios internos en los CRV aparecen en mayor cantidad hacia Guyana en el intervalo entre 2 a 4 km, lo que concuerda con la solución ponderada del espectro de potencia que indica una interfase cerca a los 3,5 km de profundidad promediada en toda la provincia de Pastora.

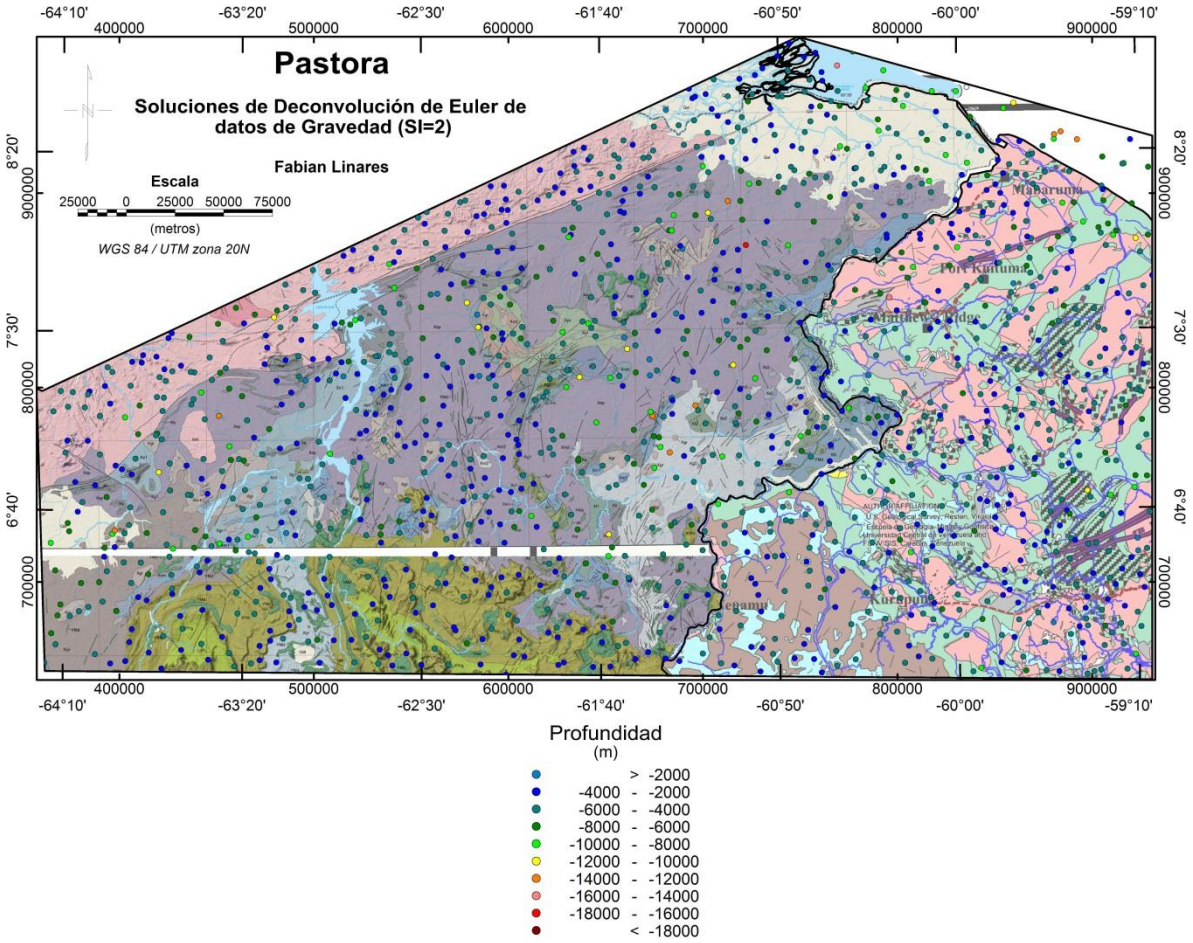


Figura 62. Mapa de soluciones de deconvolución de Euler, SI = 2.

Los resultados e interpretación de los perfiles generados mediante la deconvolución de Werner y Señal Analítica se encuentran en los Anexos de este documento. Los mismos constituyen información relevante que amplían y complementan la interpretación de la geología y estructura de esta provincia a partir de los datos de gravedad. Los mismos constituyen fundamentos que nutrirán las conclusiones.

CAPÍTULO V
CUCHIVERO

Durante el Paleoproterozoico Tardío a Mesoproterozoico rocas intrusivas a volcánicas félsicas calcoalcalinas, pertenecientes a un arco magmático, y rocas sedimentarias, intrusionaron y se depositaron, respectivamente, sobre basamento de CRV-granitos sódicos asociados, en las partes sur, centro y occidente del Escudo y probablemente del Complejo Imataca, en la parte N-NE del Escudo de Guayana en Venezuela, al final y después de la orogénesis Transamazónica (Mendoza, 2005).

Esta provincia consiste en rocas volcánicas riolíticas y asociadas, comagmáticas con granitos calcoalcalinos de la Asociación Cuchivero; sills, diques, apófisis, stocks de rocas diabásicas-gabronoríticas cuarcíferas de la asociación Avanavero, e intrusiones de carbonatitas, lamprófiros y kimberlitas eclogíticas. La misma parece extenderse hacia el S-SE en el Estado Amazonas, formando gran parte de las rocas del no-diferenciado Proterozoico según Sidder & Mendoza (1995) y continuar en Brasil como parte de la provincia Ventuari-Tapajós.

El contacto de esta provincia respecto a las dos anteriores (Imataca y Pastora) es discordante y de falla, denominado “Frente Tectónico Caura”. Mendoza (1974) en el área del río Suapure definió la sección más completa de la provincia con el nombre de “Supergrupo Cedeño” formado por el Grupo Cuchivero (Formación Caicara, Granito de Santa Rosalía, Granito de San Pedro y Granito de Guaniamito), metabasitas y el Grupo Suapure (Granito de Pijiguao y Granito Raspakivi de El Parguaza). Sobre el Grupo Cedeño, yacen discordantemente rocas sedimentarias del Grupo Roraima. El mismo autor propone que el término de Supergrupo sea suplantado, ya que el mismo refiere a concepto litoestratigráfico, por el término de Superasociación, que refiere a concepto litodémico.

Levantamiento, inclinación y erosión del escudo puso al descubierto en la zona noroeste la parte inferior de las Volcánicas de Caicara, mientras en el sur, en Amazonas, solo puso al descubierto la sección media y superior. La correlación de las rocas de Cuchivero es el

Grupo Uatumá en Brasil, los Grupos Burro-Burro y Kuyubini en Guyana y la formación Dalbana en Surinam.

En términos generales, esta provincia forma parte de la provincia Ventuari-Tapajós, y está formada por una serie de arcos magmáticos de edad 1,98-1,88 Ga, y que se caracteriza por un marcado sistema tectónico NO-SE, consistiendo principalmente en rocas granitoides calcoalcalinas, siendo su basamento hacia el sur de Venezuela gneises y migmatitas tonalíticas, similares a Supamo, pero recristalizados y con edades de solo 1,75 Ga a 1,83 Ga.

Las rocas más antiguas de la Asociación Cuchivero, las volcánicas de Caicara, debieron emplazarse cercano a los 1,95 Ga, y los granitos comagmáticos con ellas no más tarde de otros 10-20 Ma. Aunque todas estas rocas volcánicas y plutónicas, graníticas, se registraron en el evento Orocaima o parte del evento Uatumá (1,96-1,78 Ga), ellas pertenecen a un arco magmático que sucedió inmediatamente a un arco de islas en un océano que se inició hace unos 2,3 Ga. Desde la apertura de este océano hasta el cierre del mismo, se adicionó el arco de islas de Pastora al arco magmático de Cuchivero y ambos se juntaron al viejo continente Imataca, durante la orogénesis Transamazónica, es decir que esta orogénesis inició y concluyó entre 2,3 Ga y 1,8 Ga respectivamente.

El espectro de potencia calculado para datos de gravedad muestra tres (3) contrastes de composición principales (Figura 63): a 36 km el más regional concordante probablemente con la discontinuidad de Mohorovicic, en 16,5 km aproximadamente atribuible al cambio entre cortezas superior e inferior (Conrad), y por último, a 3,8 km que podría representar en promedio un cambio de cristalización importante interno a la provincia, como por ejemplo, entre rocas volcánicas y plutónicas en sectores donde las primeras aún no han sido erosionadas. El espectro de potencia para datos magnéticos no fue calculado debido a que, aproximadamente, el 40% del área en el polígono tomado para la caracterización de esta provincia no contiene datos del modelo EMAG2, haciendo que los cálculos de longitudes de onda sean truncados y poco representativos de la realidad. No obstante, el dato magnético será utilizado para la caracterización primaria que se realiza a partir de técnicas de realce y filtros.

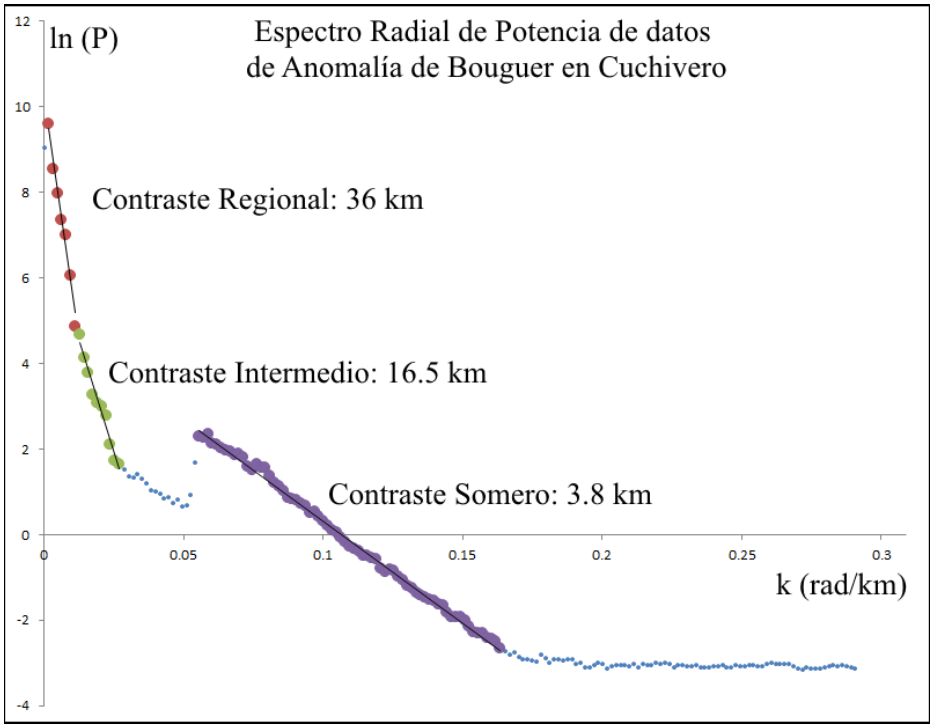


Figura 63. Espectro radial de potencia de la provincia Cuchivero de datos de gravedad.

Si se observa el mapa geológico (Figura 64), la provincia de Cuchivero se extiende más allá del polígono considerado hacia el suroeste. Esta sección de la provincia faltante será caracterizada, por razones prácticas, en el capítulo correspondiente a las litologías que comprenden al Estado Amazonas. El polígono ha sido restringido de esta manera para evaluar primordialmente la interacción oriental de Cuchivero respecto a Imataca y Pastora, y la configuración central de la provincia. La tectónica hacia el margen occidental será considerada en un capítulo posterior.

El comportamiento de la gravedad en esta provincia se caracteriza por ser, en términos generales, de baja magnitud y tiende principalmente hacia valores negativos (Figura 65). Esto es indicativo de la naturaleza cortical silícica de esta sección. El mínimo de magnitud se ubica en 63,4ºO/5,6ºN aproximadamente, que coincide con la ubicación prolongada del primer sistema de rift observado en la provincia de Pastora mediante todas las técnicas aplicadas. Los máximos de anomalía se ubican hacia el norte, producto de la somerización de Mohorovicic en el borde sur de la cuenca Oriental.

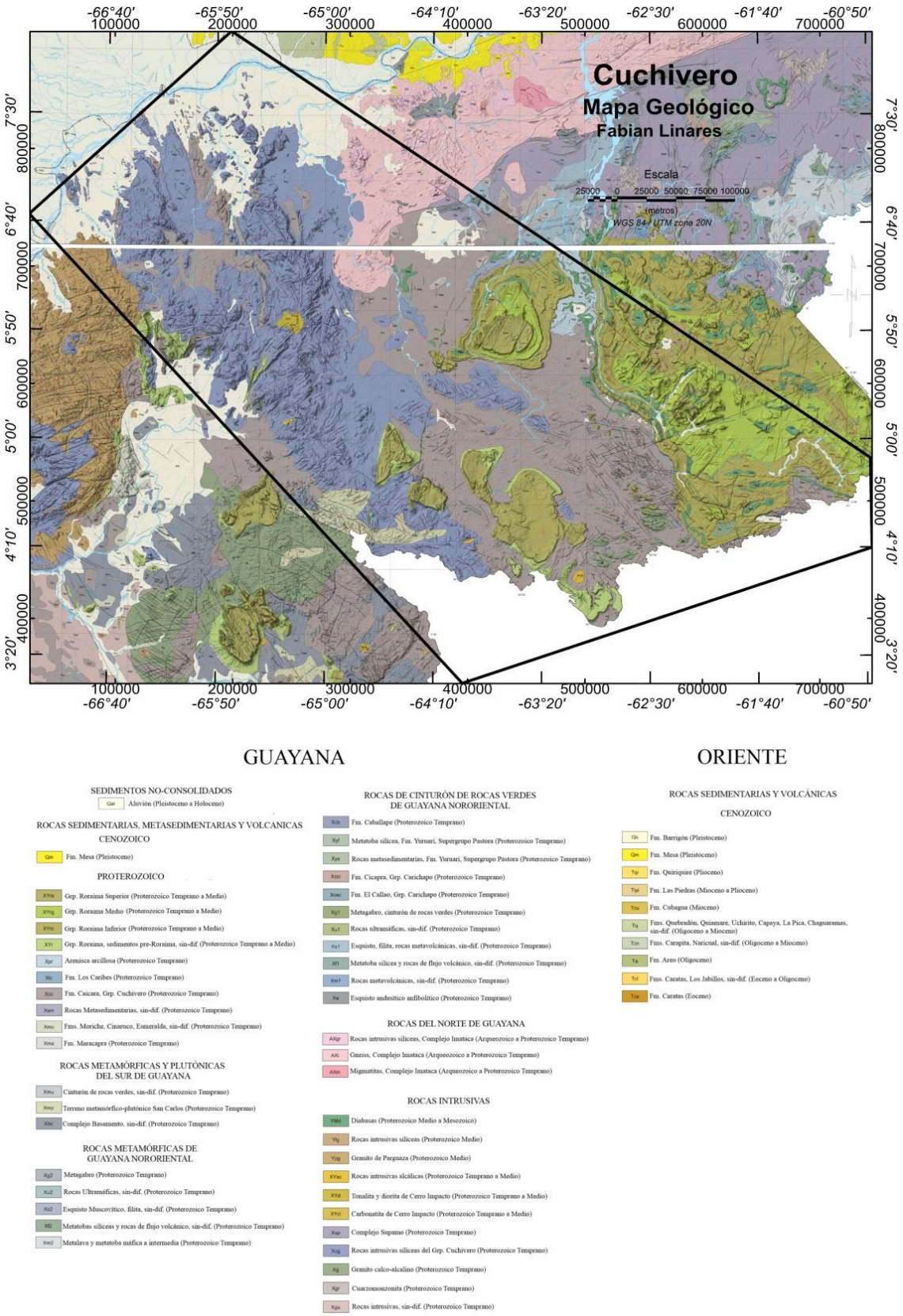


Figura 64. Mapa geológico de la provincia de Cuchivero (Hackley *et al*. 2005).

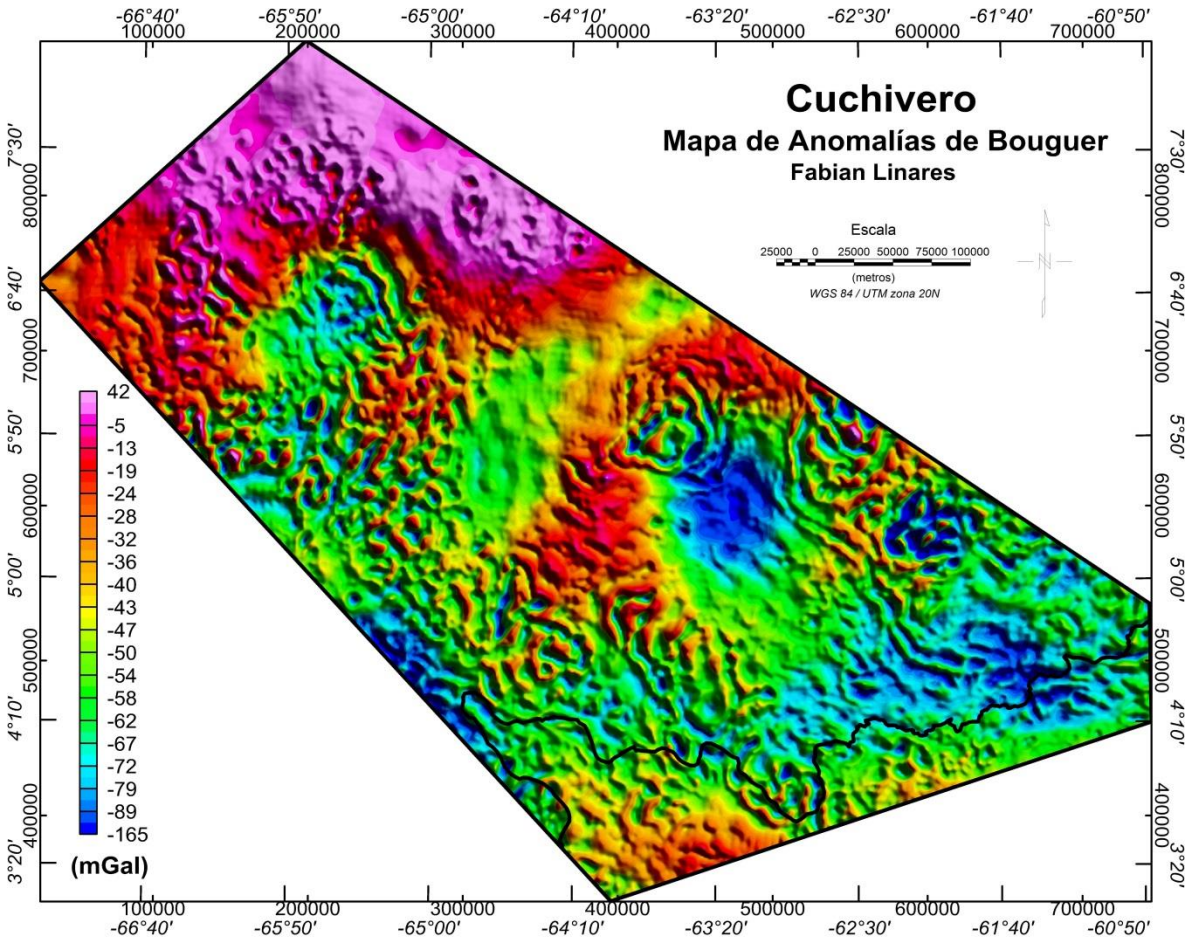


Figura 65. Mapa de anomalías de Bouguer de Cuchivero a partir del modelo combinado EIGEN-6c4.

El mapa de anomalías magnéticas (Figura 66), a pesar de no cubrir la totalidad de la región, expresa cualidades muy importantes y concordantes con el mapa de anomalías de gravedad. El rango de magnitudes en este caso es mucho más amplio, pero en términos de tendencias correlativas con tectonismo y composición, ambos mapas muestran prácticamente lo mismo, a pesar de que existen diferencias resolutivas, y por ende, restringen la capacidad de detalle del dato magnético.

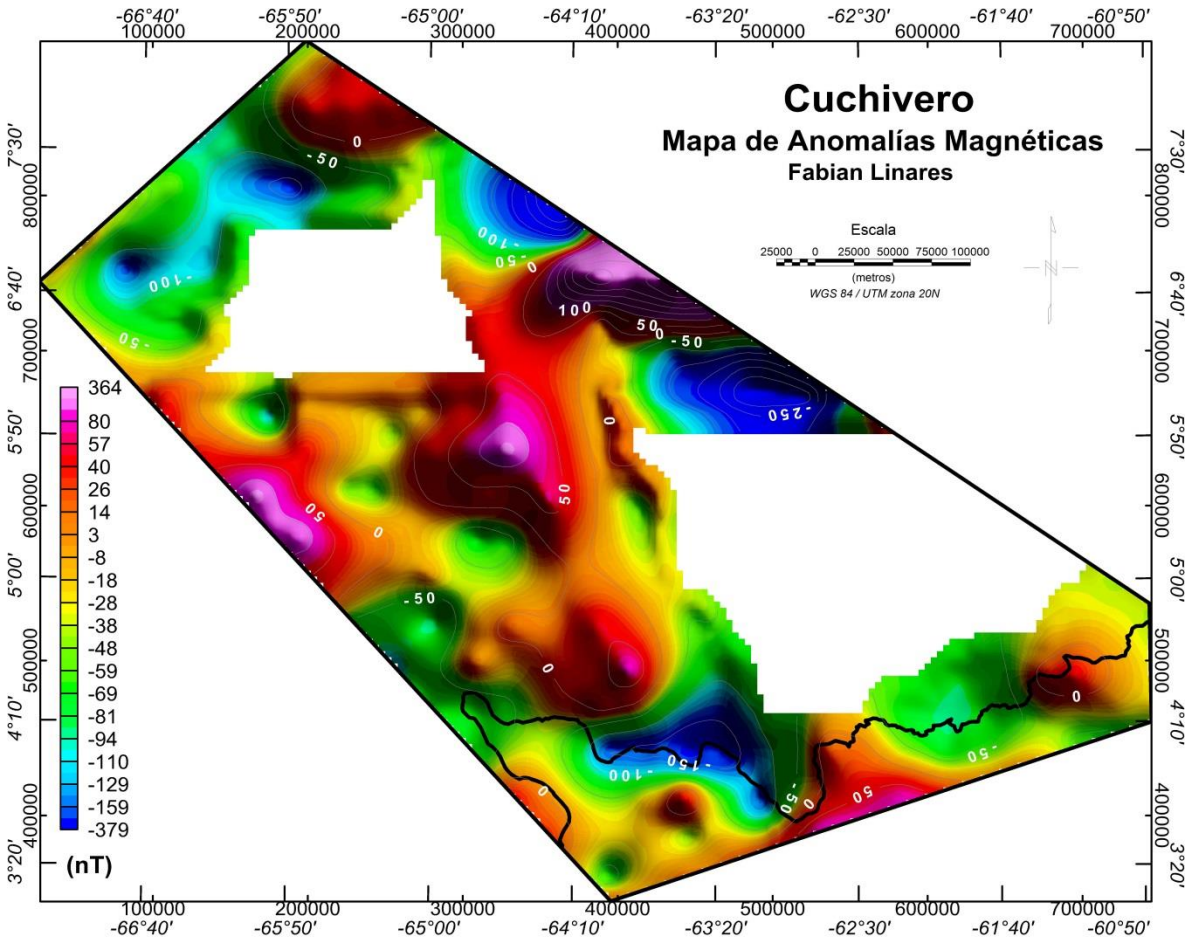


Figura 66. Mapa de anomalías magnéticas de Cuchivero a partir del modelo EMAG2.

Debido a la gran similitud estructural y composicional de ambos mapas, el análisis se realiza en conjunto. Los rasgos que muestran son evidencia imprescindible para comprender el sistema tectónico durante la colisión, ya que ambos mapas exhiben una zona expansiva tras-arco, ubicando el arco más próximo a la sutura en el centro del mapa, con disposición cóncava hacia el suroeste. Por algún motivo, la colisión no fue total, el sistema se detuvo. El sistema de rift continúa hacia el S-SE, curvándose en la frontera con Brasil y prolongándose hacia Guyana. El arco posterior (parece haber más de uno) más cercano a la zona de posible sutura, coincide con altos de anomalía magnética y de gravedad simultáneamente, indicando dos cosas a la vez: 1) es un alto estructural y conforma el borde occidental del sistema de rift retro-arco; 2) por su alto carácter magnético, podría estar compuesto por rocas de CRV levantadas tectónicamente.

La rotación de la provincia de Pastora contribuyó a la inversión de estos rifts posteriormente. La zona de sutura parece ubicarse aproximadamente 100 km al oeste del río Caura, cóncava hacia el oeste, de disposición similar al arco, permitiendo la formación de sistemas tectónicos en Cuchivero paralelos a esta dirección. Siendo el metamorfismo de estas rocas leve, y las deformaciones no alcanzan relieves importantes como es el caso Andino, por ejemplo, o todo aquello se erosionó, o la colisión fue parcial. Es probable que la colisión de un arco previo, ya refundido, haya trancado el sistema de subducción, migrando la misma más hacia el oeste. Esto podría deberse probablemente a la velocidad con la que se aproximaron los segmentos de placa. La similitud de origen que presentan los granitos en Cuchivero respecto a los de Supamo, pero con diferentes edades y disposición, conlleva a imaginar que esto tuvo que ser producto del movimiento de la placa sobre un sistema de ascenso termal silícico. Llama la atención el tamaño y la baja magnitud de anomalía de Bouguer que presenta el mínimo en el mapa, si se considera que allí no hay montañas ni intrusivo aflorante. Es cierto que se encuentran cerca granitos de esta provincia, pero los mismos se encuentran sobre el alto estructural en este sector.

Respecto a la relación entre Caicara (volcánicas) y Cuchivero (plutónicas), lo más probable es que pertenecen al mismo sistema magmático, solo que como existían centros expansivos, había zonas donde el magma pudo cristalizar primero por extrusión, convirtiendo a Caicara en la parte superior del magmatismo, aun cuando pudo estar a un costado de la zona de engrosamiento cortical. Esto a su vez concuerda con las edades, ya que el magma donde aflora Caicara cristalizó primero y en superficie, mientras hacia el interior, en una corteza relativamente engrosada por la subducción, parte del magma permaneció en el eje principal de la cámara magmática activa, parcialmente fundido, y cristalizó cuando el eje de calor migra hacia el oeste, permitiendo la cristalización de los granitos con edades más recientes que Caicara.

El mapa de reducción al ecuador de los datos magnéticos (Figura 67) presenta cierta incertidumbre con respecto al sistema estructural, ya que hacia el centro-oeste del mapa, parecen existir sistemas de corrimiento en sentido NO-SE asintóticos en el sur, que dibujan ligeramente diferente el acoplamiento de los altos estructurales y arcos de los CRV respecto al mapa de gravedad y al magnético sin reducción. El resto de las características son

concordantes. La ausencia de datos magnéticos en sectores importantes de esta provincia representa limitantes para comprender la prolongación o extensión de estos sistemas.

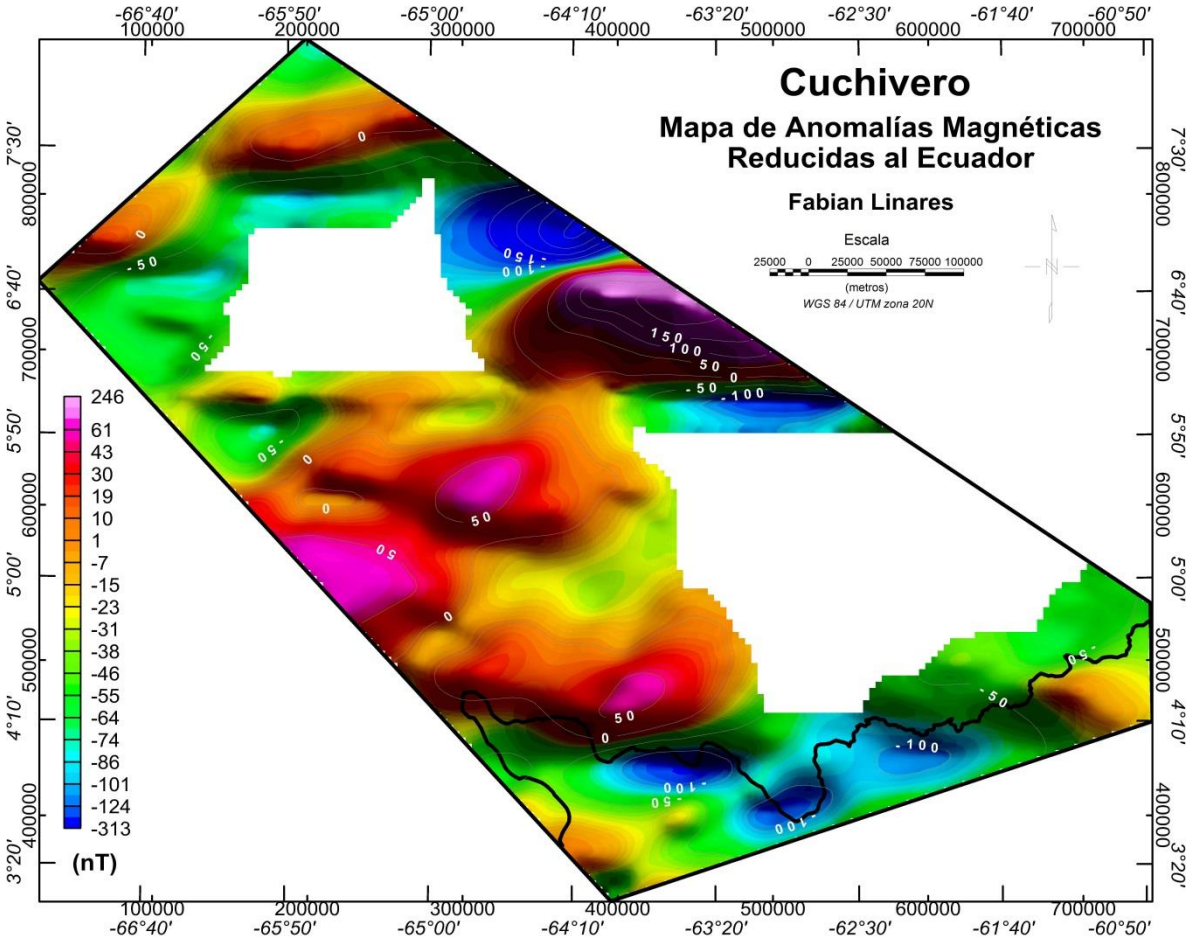


Figura 67. Mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador del modelo EMAG2.

Al ser el dato magnético de origen más regional que el de gravedad, las estructuras que se están observando en ellos obedecen principalmente a las etapas tempranas de acoplamiento y corrimiento de los CRV. El dato de gravedad se encuentra representando principalmente estructuras de eventos tectónicos posteriores, que generaron la alternancia de altos y bajos estructurales, con sistemas de rift tras-arco, en un margen de subducción con deformación bastamente erosionada y flujos magmáticos de alto contenido de sílice, ubicado a su vez sobre una zona de corriente mantelar ascendente relativamente estática, que por el rápido movimiento de las cortezas, las intrusiones magmáticas fueron migrando hacia el oeste progresivamente. Aún permanece en incertidumbre si los granitos que conforman la

provincia de Cuchivero son post-colisión o sincrónicos a la subducción (etapa de acortamiento entre los arcos).

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL

El mapa de anomalías de Bouguer regional revela estructuras muy profundas propias de la etapa de acoplamiento de los CRV y posterior etapa de subducción entre los mismos y/o alguna otra corteza (Figura 68). Es muy resaltante la diferencia gravitacional en algunos mínimos concéntricos, y la naturaleza del más grande de ellos (5,6ºN/63,3ºO) ubicado donde afloran rocas de Caicara, conlleva a sugerir que, por sus dimensiones y magnitud de anomalía, constituye un canal de ascenso magmático. En este mapa al menos 4 sectores presentan esta misma característica, con magnitudes de anomalía muy similares, alrededor de los -80 mGal a -100 mGal, dispuestos acorde a la tectónica regional. El de mayor tamaño concuerda con la ubicación de un sistema de rift tras-arco inferido.

Composicionalmente, gran parte de la corteza que compone la zona de sutura y el arco o alto estructural debería o parece corresponder con rocas afines a CRV, siendo las rocas volcánicas e intrusivas que afloran en estos sectores la parte más superficial del sistema de corrimiento y con mayor deformación superficial. Las zonas de apertura, como el rift inferido, y la franja de subducción primaria deben estar constituidas corticalmente por rocas afines a la provincia Cuchivero. La zona ubicada en la frontera suroeste del polígono, con magnitudes de anomalía negativas, parece corresponder con otro canal de ascenso magmático. El ascenso de los granitos y las volcánicas parecen tener un mismo origen mantelar, pero los canales de ascenso o al menos los niveles de profundidad que tales diferentes canales alcanzaron parecen diferir dependiendo de la situación tectónica. Lo que parece acorde mencionar es que estos flujos magmáticos fueron posteriores al tectonismo que ocurrió en los CRV. El tectonismo que se observa en esta zona probablemente propició, junto a la tectónica con Imataca, la intrusión de Supamo. Al cerrarse la subducción y entrar a la fase de colisión, la subducción tuvo que migrar hacia el suroeste, ya que eran un conjunto de altos y bajos, o arcos y sistemas de rift, que se encontraban acortando las distancias que los separaban. Probablemente el evento tectónico que permitió el ascenso de Cuchivero, en trabajo conjunto con la situación termal mantelar debajo de la(s) corteza(s), fue la subducción hacia Atabapo. En las zonas propensas a regímenes extensivos, lo

primero y más rápido en cristalizar fueron las rocas volcánicas de Caicara. Poco tiempo después lo hizo su equivalente intrusivo.

Una característica importante es que los granitos aprovecharon las zonas de debilidad de la reciente colisión para ascender. La zona de colisión se caracteriza por generar engrosamiento de la corteza, y esto fue favorable para la cristalización tardía de los granitos. La mayoría del magma que ascendió por las fracturas del rift fue el que cristalizó en rocas volcánicas.

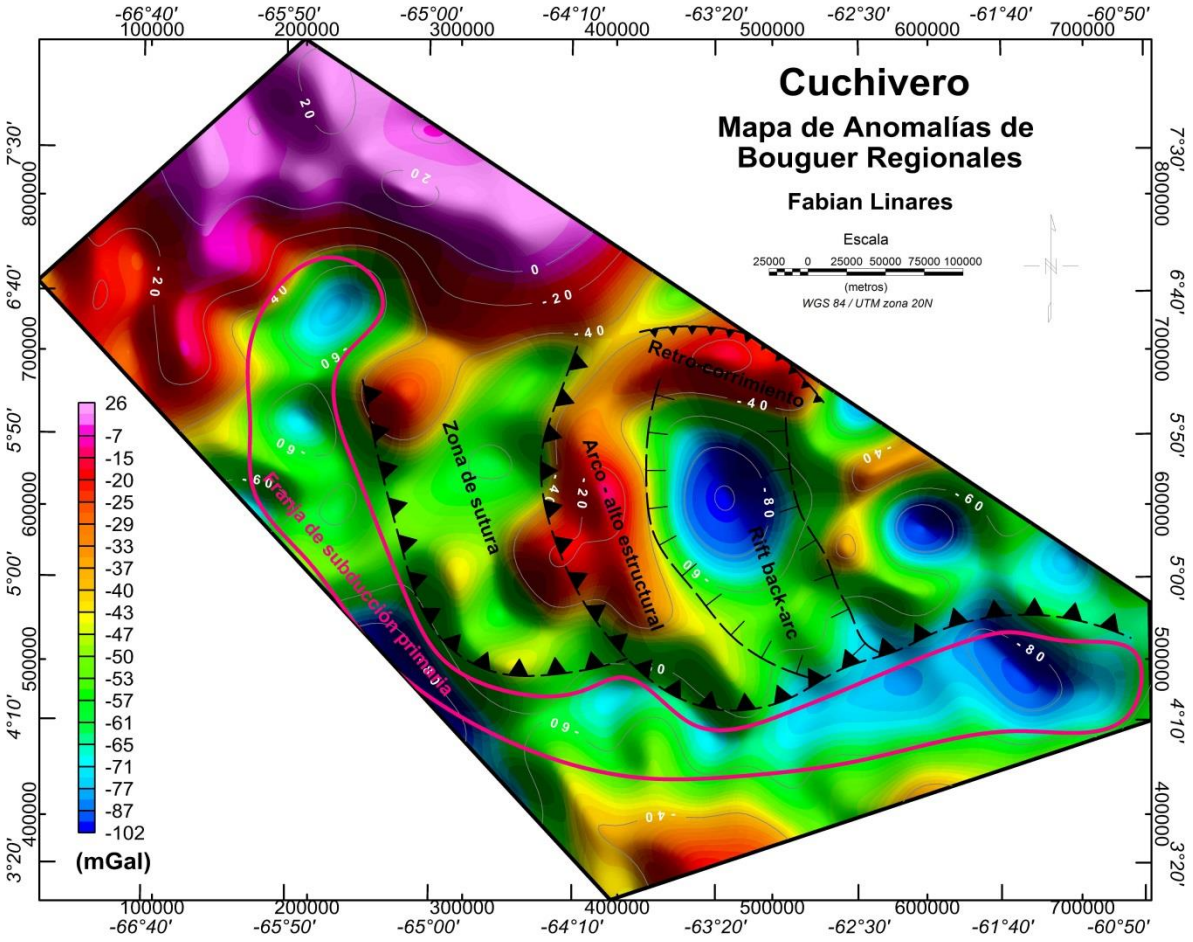


Figura 68. Mapa de anomalías de Bouguer regionales en Cuchivero.

Todos los cambios en el sistema en conjunto tuvieron que ocurrir a velocidades discordantes a las actuales. El alto gradiente geotérmico permitía probablemente que lo que subducía, en poco tiempo relativo, ascendía. El sistema parece ser muy dinámico y variante

y, por ende, la zona parece una conjetura o mezcla de diferentes condiciones expresadas a diferentes niveles de profundidad.

Lo que podría sustentar este cambio de estructuras con la profundidad es que, al iniciar la formación de este cratón, el gradiente geotérmico al ser tan alto, las cortezas debieron ser delgadas, facilitando su movilidad y alteración. Al ellas comenzar a engrosar, principalmente a través de procesos magmáticos, fueron sepultando estos sistemas, que progresivamente se encontraban cambiando. Los procesos tectónicos que ocurrieron posteriormente fueron registrados en las rocas más recientes de entonces, y así sucesivamente. Los procesos recientes afectaban principalmente a las capas más superficiales de la corteza.

El mapa de anomalías residuales, Figura 69, revela patrones estructurales superficiales. Se observa que hacia el noroeste la tectónica más reciente ocasionó desplazamiento de rumbo que modificó el lineamiento de sutura. Hacia el sur del mapa, este lineamiento se observa con mayor desplazamiento con una falla sinestral, que ligeramente desplaza el bloque oriental hacia el norte. Esto concuerda con la cinemática global del sistema, ya que probablemente este margen de subducción y posterior colisión no era tan curvo como se dispone actualmente, sobre todo cuando los posteriores arcos hacia el oeste se fueron adicionando. La gran cantidad de anomalías de corta longitud y alta magnitud se encuentran ligadas principalmente a las zonas con mayor deformación superficial y con intrusiones que modificaron la configuración de la roca caja. La zona de colisión probablemente consista en la zona que corre NO-SE, compuesta de rocas graníticas. Esta disposición es similar a la orientación del río Caura, pero se encuentra desplazada aproximadamente 50 km hacia el oeste.

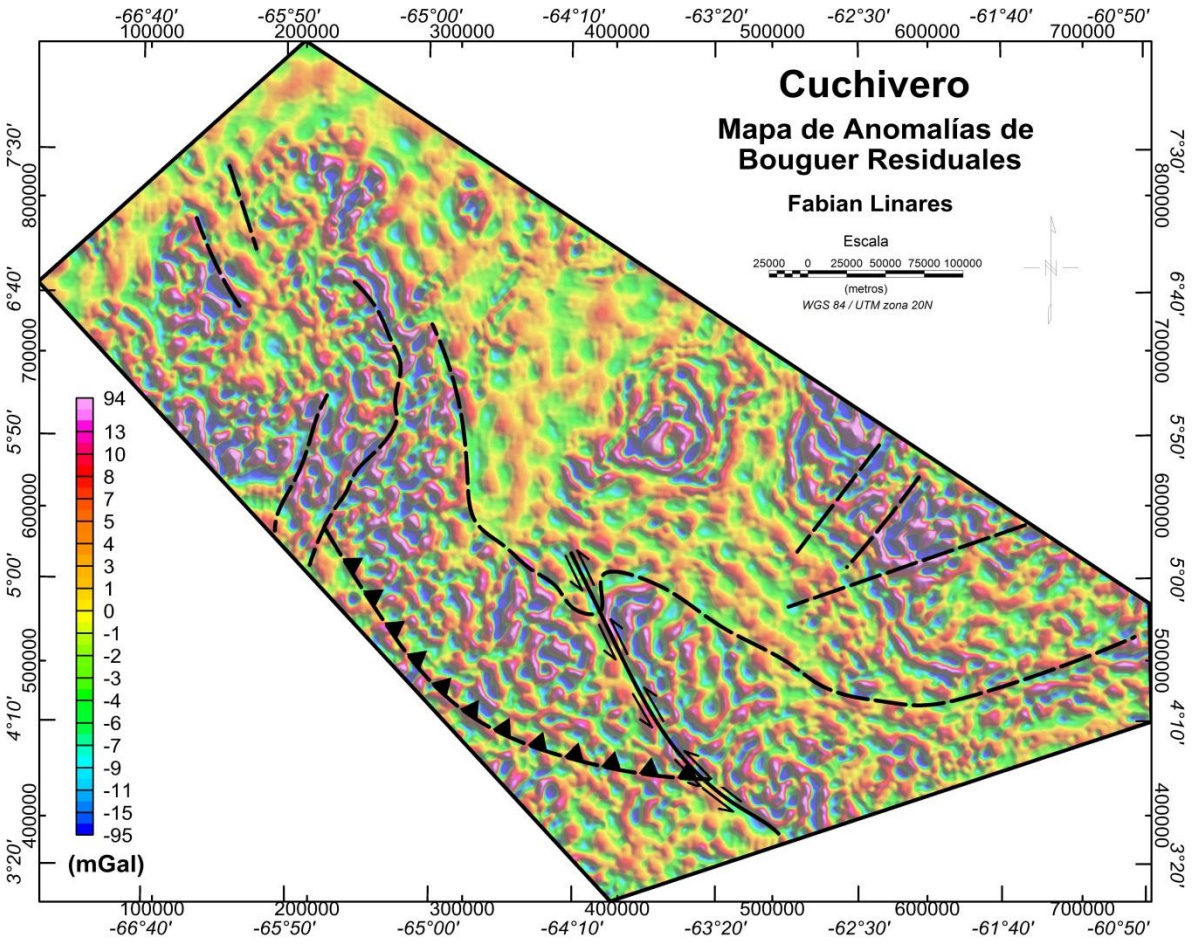


Figura 69. Mapa de anomalías de Bouguer residuales en Cuchivero.

SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT

La principal característica que revela el mapa de señal analítica son los cambios de dominio tectónico superficial (Figura 70). En las áreas 2 y 3 el patrón de las fallas es NNE-SSO, mientras que en la zona 1 corresponden a una orientación ESO-ONO. Esta diferencia sugiere varias características: a) existió un régimen tectónico que generó los patrones que se observan casi E-O, probablemente compresivo en dirección perpendicular, o transpresivo en dirección oblicua, quizás durante el cierre de la colisión hacia el sur de la provincia; b) este evento tectónico ocurrió posteriormente a la colisión en el norte de la provincia, c) este régimen de esfuerzos no alcanzo a influir en la sección norte. Esto sugiere que el cierre inició desde el norte y centro de la provincia hacia el sur, donde tardó un poco más en cerrar.

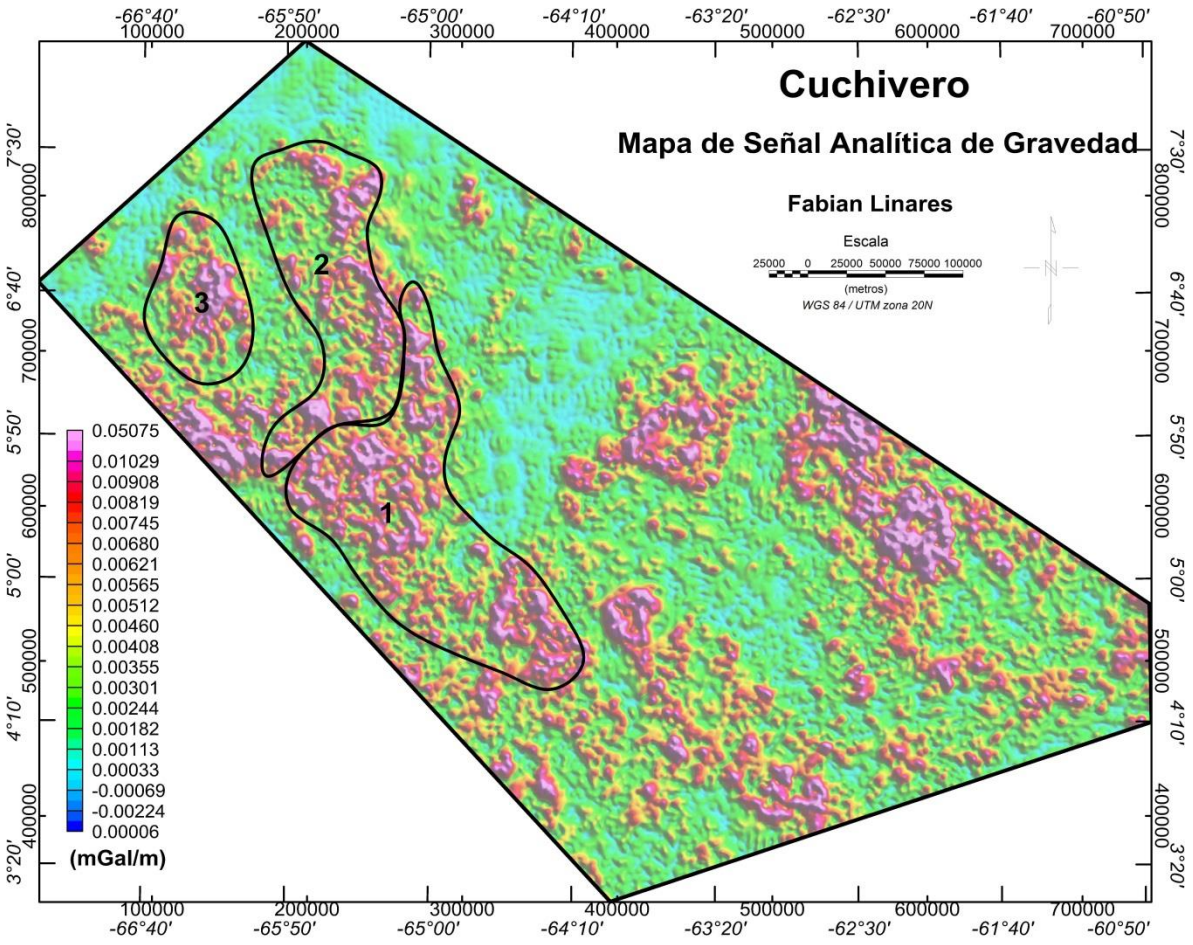


Figura 70. Mapa de señal analítica de gravedad en Cuchivero.

La baja cantidad de gradientes internos donde afloran las volcánicas de Caicara sugiere que las mismas corresponden a una capa semi-horizontal, con fuente magmática probablemente ubicada en el sistema de rift más occidental interpretado en la provincia de Pastora y algunos canales en los flancos de los altos estructurales. A su vez, probablemente la deformación hacia el sur tuvo menos influencia, incluso con menor flujo magmático que generaran rocas graníticas. Es por ello que, a pesar de ser la misma fuente mantelar la que permitió el ascenso de Caicara y las rocas graníticas, los canales de ascenso no fueron los mismos. Para el primer caso el magmatismo fue sincrónico a la apertura de sistemas de rift detrás del o los arcos y en los flancos de altos estructurales, mientras que en el segundo caso fue la propia zona de subducción en etapa de cierre con el engrosamiento cortical. Como la cinemática indica que las placas contaban con velocidad anormal (comparada a la hoy en día vista), también los procesos que generan estas velocidades pueden ser más

intensos y dinámicos, y una vez ocurre la sutura en el frente, los rifts se invierten parcialmente detrás del arco, y la zona de subducción migra posterior a la que se encuentra en proceso de extinción, por fractura de la corteza y la imposibilidad de seguir moviéndose. Al ser las cortezas más delgadas, con altos gradientes térmicos, esto pudo ocurrir relativamente rápido.

En la Figura 71 correspondiente a la derivada Tilt de los datos de gravedad se muestran algunas de las características ya mencionadas, siendo la más importante de ellas que la zona de mayor deformación tectónica ocurre en el límite occidental de la provincia de Cuchivero, y en menor medida, en su frontera meridional. Una falla de rumbo quiebra ligeramente la orientación que presenta la zona de colisión, pudiendo así sugerir que la partición de esfuerzos para la frontera sur fue oblicua, mientras hacia el occidente fue frontal. El conjunto de ángulos negativos hacia el este de la provincia presenta la ubicación del sistema de rift inferido, apantallado en superficie por rocas pertenecientes a Roraima y el conjunto de intrusivos de la asociación Avanavero.

Si bien el mapa parece presentar solo soluciones de ángulo positivo, existen agrupaciones de ángulos de magnitudes negativas que tienden a separar sistemas estructurales limítrofes, como ocurre hacia el norte de la provincia. Hacia el centro, la aleatoriedad de las soluciones no permite hacer asociaciones precisas, sin embargo, es de notar que la región donde debió estar el arco o alto estructural presenta soluciones positivas separadas de la zona de colisión y de rift por soluciones de magnitudes negativas.

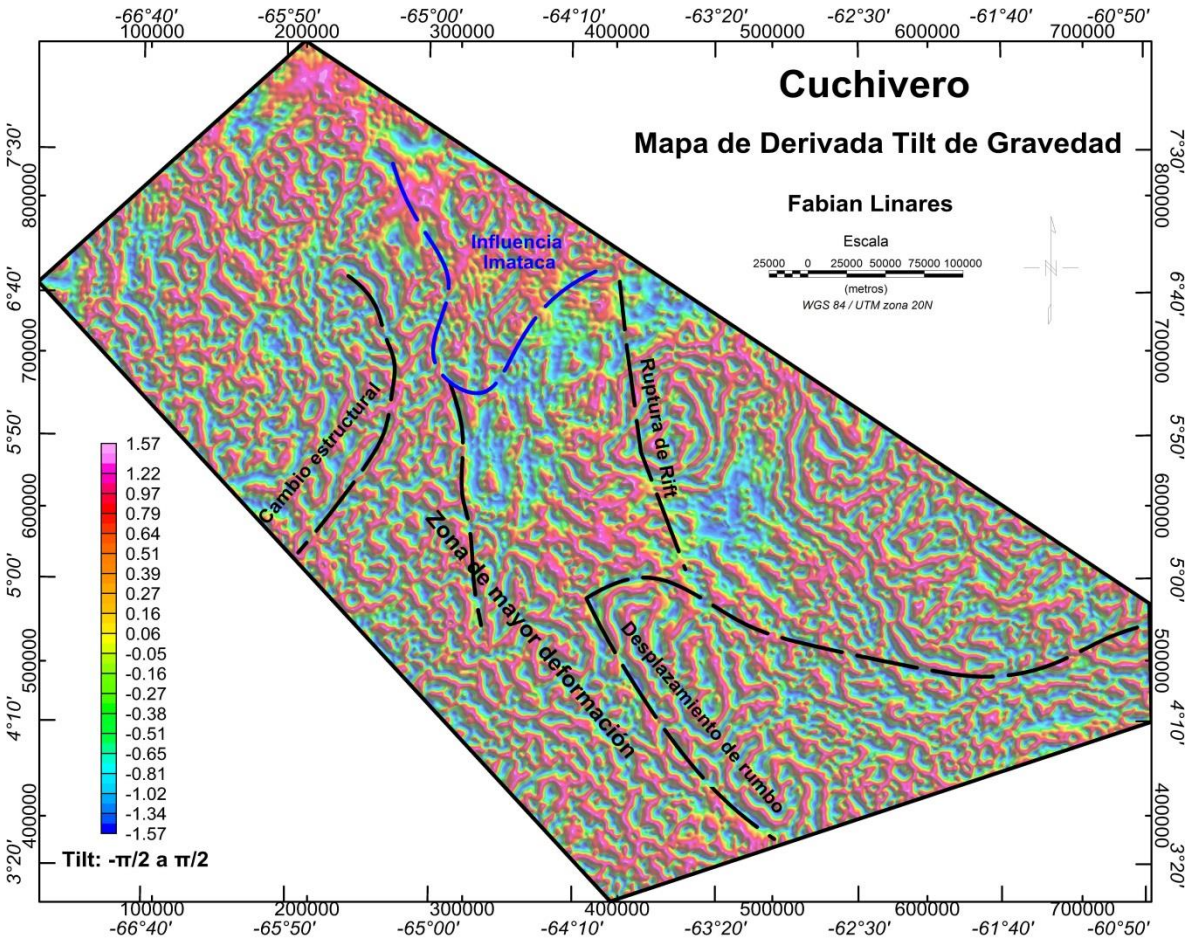


Figura 71. Mapa de derivada Tilt de gravedad en Cuchivero.

En el caso de los datos magnéticos, la aplicación de estos operadores representa ciertas restricciones debido a la no cobertura total del área. No obstante, a nivel superficial (considerando el carácter regional del modelo) la mayor parte de la corteza en los primeros kilómetros debe estar constituida por rocas predominancia silícea. Esto debido a la escasez de gradientes en las zonas donde afloran las litologías referidas (Figura 72). Los principales contrastes obedecen al contraste entre la provincia de Cuchivero e Imataca hacia el noreste, y una serie de altos gradientes que se observan donde se ubican las zonas de relevancia estructural. Estas zonas de relevancia corresponden a altos estructurales probablemente compuestos de CRV en las partes profundas de la corteza, por debajo de las rocas intrusivas y extrusivas.

Por otra parte, el mapa de derivada Tilt muestra sistemas a mayor profundidad similares a la teórica disposición del aglutinamiento de CRV (Figura 73). Las altas magnitudes de

ángulo se ubican donde se encuentran altos contrastes derivados de fallas y cambios de composición intra-cortical probablemente.

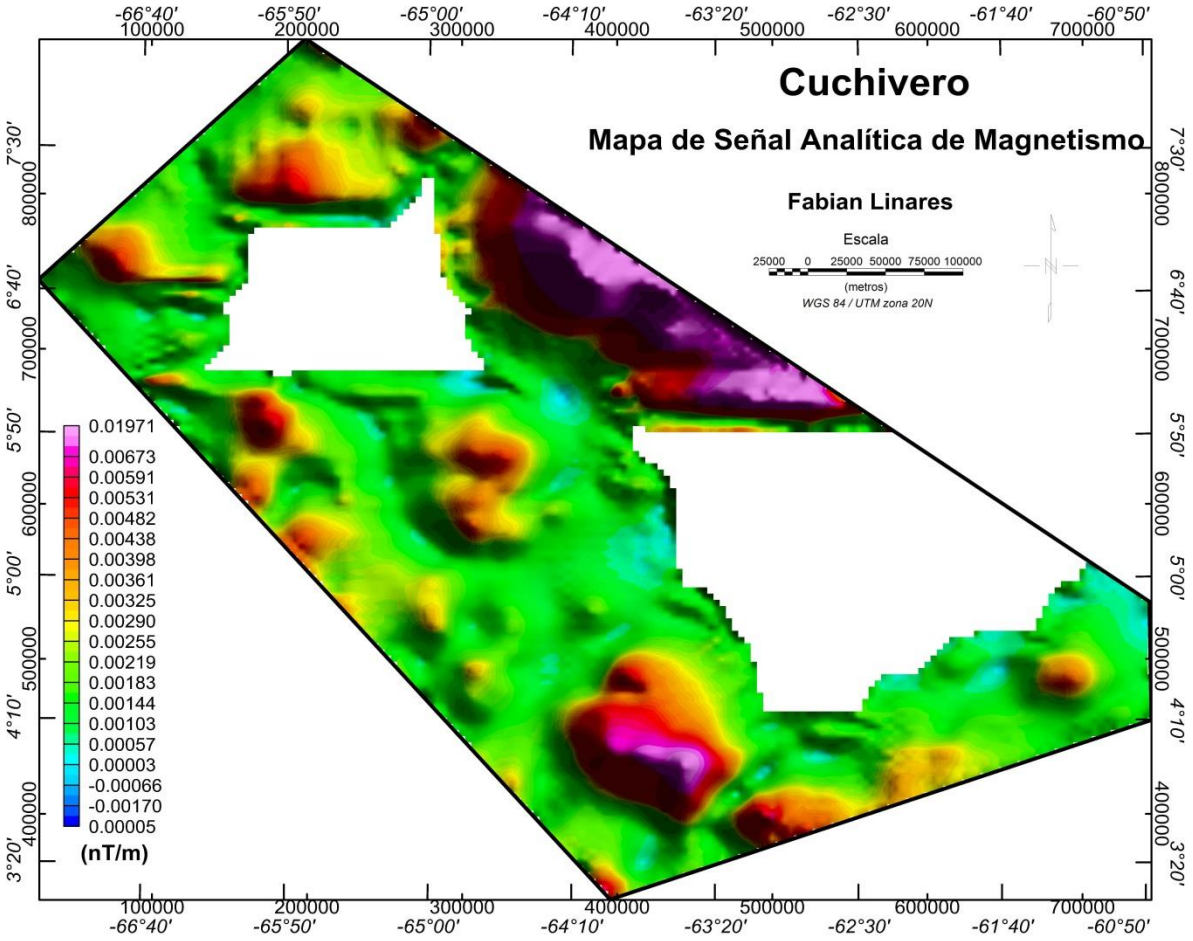


Figura 72. Mapa de señal analítica en datos magnéticos en Cuchivero.

Es de acotar la gran influencia que presenta la inclinación del campo magnético terrestre en la conducta del mapa, aun cuando la técnica fue aplicada a los datos una vez reducidos al ecuador. Es probable que las rupturas que se observan en el alto estructural obedezcan a cambios de composición asociados al primitivo acoplamiento de los CRV.

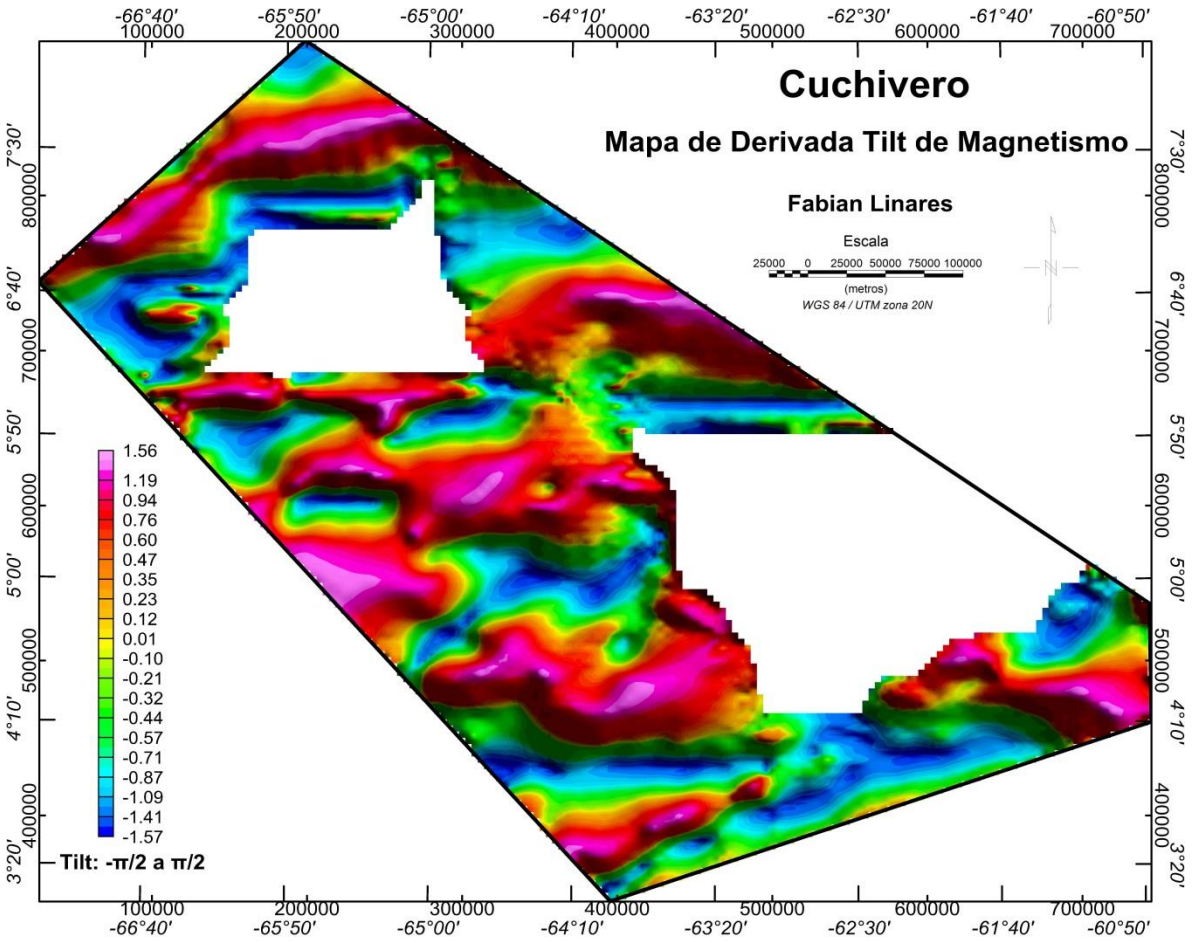


Figura 73. Mapa de derivada Tilt de datos magnéticos en Cuchivero.

DERIVADAS DIRECCIONALES

El mapa de derivada vertical (Figura 74) denota los sistemas estructurales superficiales que se encuentran afectando la disposición de las litologías. Hacia el noroeste, sistemas de fallas cóncavos hacia el este marcan la principal diferencia cinemática de la zona de sutura. La frontera occidental de la colisión se encuentra representada por un sistema regional de corrimiento fracturado por sistemas de fallas con componente rumbo-deslizante, siendo el principal y más importante el ubicado en el sur de la provincia. Esta falla es la zona donde la provincia cambia de orientación, desde NO-SE hacia una disposición de bajo ángulo OSO-ENE. El sistema de rift a niveles de profundidad someros es de baja influencia, ya que el mismo se encuentra relleno de litologías afines a rocas volcánicas metamorfizadas en superficie. En la provincia de Cuchivero, estas rocas metamórficas fueron erosionadas,

mientras en el norte del rift, hacia Pastora-Supamo, las rocas metamórficas aún se encuentran aflorantes. Este rift se encuentra truncado en el sur por una falla de rumbo de movimiento desconocido. Esta falla es inferida debido a que la composición intra-cortical a través de la distribución de los gradientes cambia considerablemente. Existe una alineación continua de gradientes que denotan el borde de la provincia Roraima no desplazada por esta falla, pero ellos son producto del evento magmático asociado a Avanavero posterior a la tectónica a la cual se hace mención, lo que justifica los resultados.

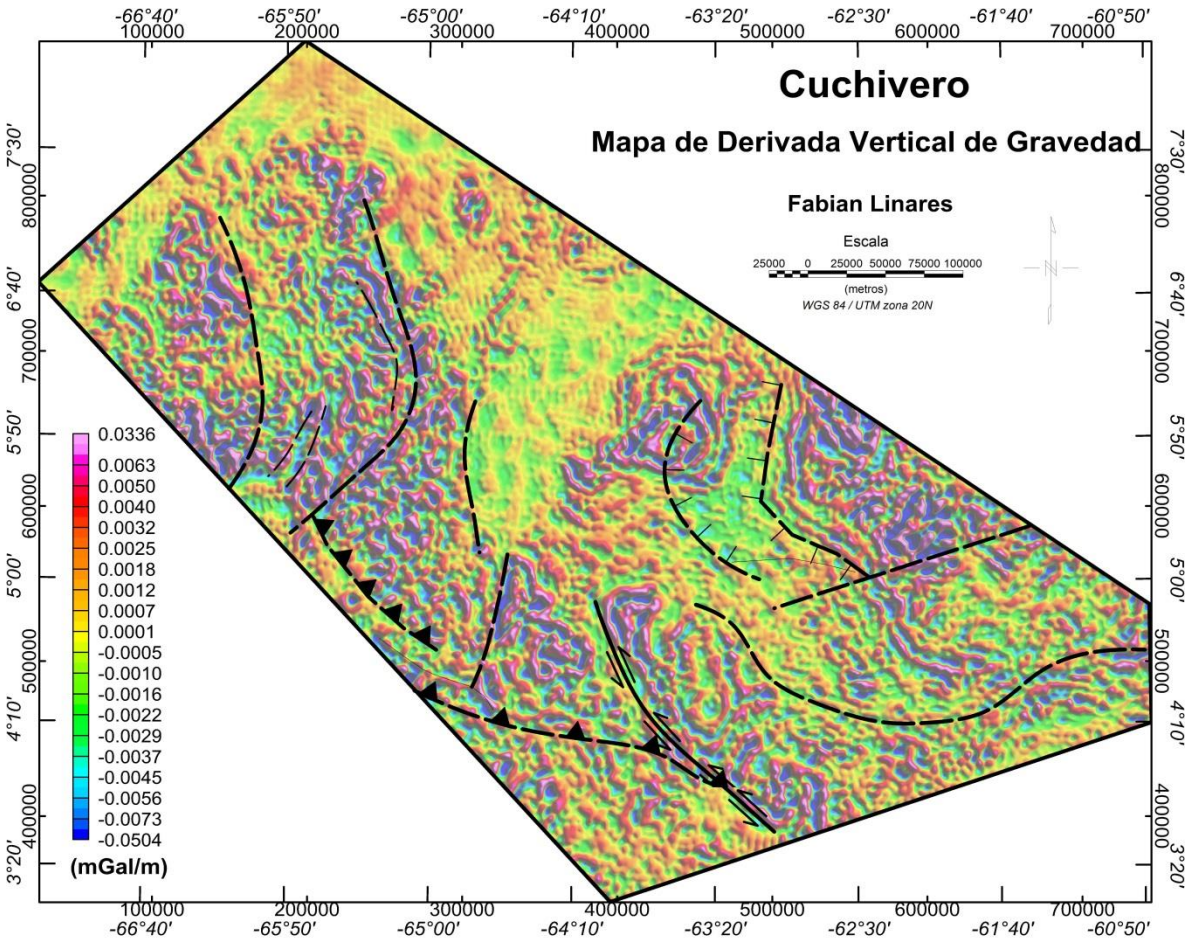


Figura 74. Mapa de derivada vertical de gravedad en Cuchivero.

Las soluciones de derivada horizontal (Figura 75) realzan los contrastes en profundidad a niveles someros a intermedios. A partir de este mapa se observa que la mayoría de la sección superficial se encuentra levantada estructuralmente, siendo la zona de colisión donde en profundidad ocurren los mayores cambios de composición y asociados a rocas intrusivas. La zona central-oriental de la provincia indica espesores que alcanzan mayor

profundidad, principalmente en la zona de rift, siendo la respuesta asociada a las rocas volcánicas.

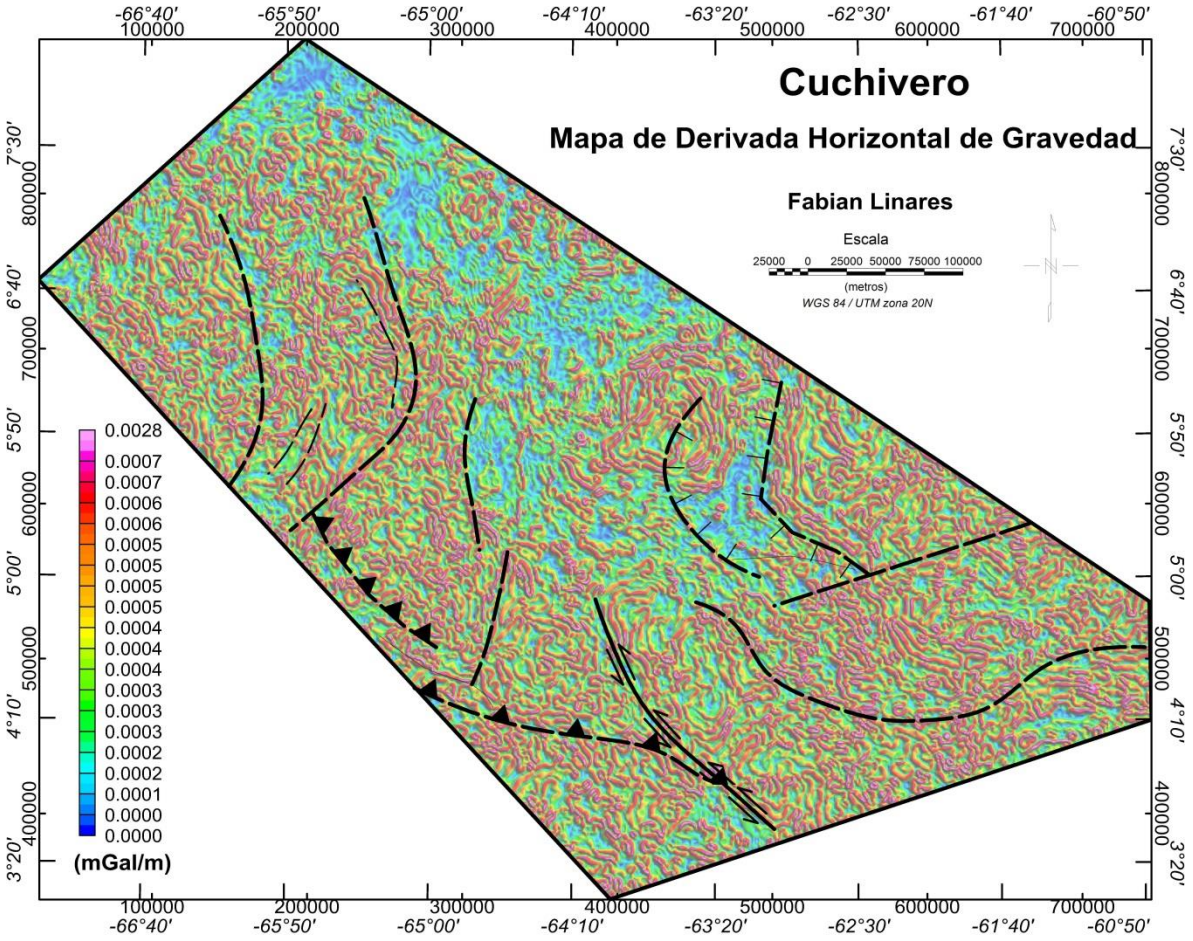


Figura 75. Mapa de derivada horizontal de gravedad en Cuchivero.

DECONVOLUCIÓN DE EULER

El mapa de índices estructurales (Figura 76) es concordante con las interpretaciones hasta el momento hechas en base a las estructuras observadas. Los lineamientos que presentan los índices obedecen a una tendencia curva, NO-SE en el norte y centro del mapa, y SO-NE asintótica en el sur del mapa. La mayoría de estas soluciones de índice limitan la estimación a una o dos dimensiones, infiriendo que a niveles corticales someros, la disposición de los cuerpos volcánicos semi-horizontales marcan los principales contrastes de composición.

Las rocas plutónicas coinciden con soluciones de índice dos (SI=2) en subsuelo, siendo la principal orientación de estos índices NO-SE.

Los índices 0 y 1 se encuentran ligados a rasgos estructurales principales y zonas con cambios sub-verticales de composición. Es decir, sistemas de fallas de gran envergadura y límites de composición comprenden los lugares donde estos índices modalmente aparecen.

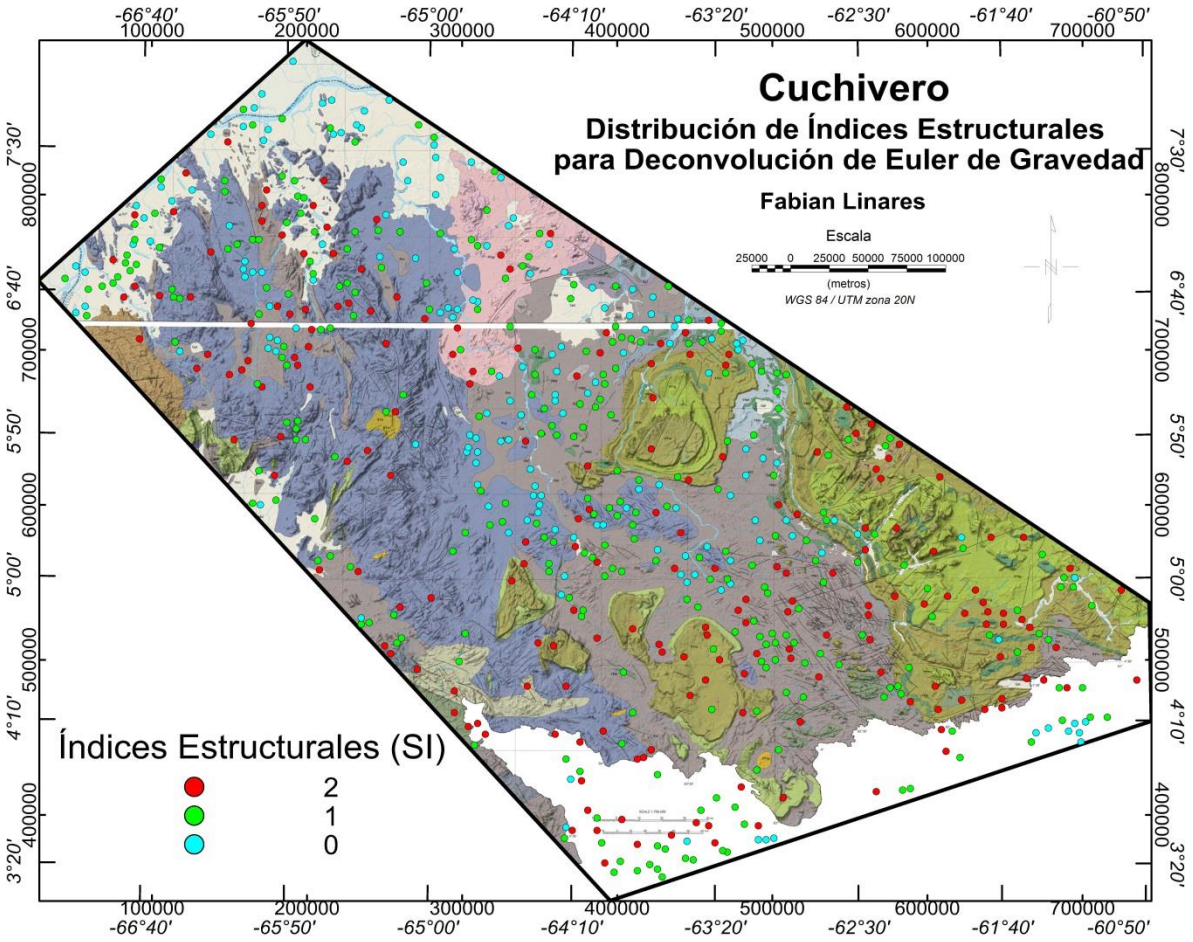


Figura 76. Mapa de distribución de índices estructurales para la deconvolución de Euler en Cuchivero para datos de gravedad.

El mapa de soluciones de índice igual a cero (0) (Figura 77) representa gran cantidad de soluciones someras, indicantes de los contrastes graduales de la cristalización de las rocas ígneas. Las soluciones que presentan profundidades mayores a 0 m consisten en aquellas localidades donde existe una topografía tal que los contrastes existen por arriba del nivel medio del mar. La mayoría de estas soluciones (círculos rojos) se ubican en el relieve constituido por rocas graníticas de Cuchivero. Otra gran cantidad se ubica en los relieves

donde afloran rocas del Grupo Roraima, indicando contrastes semi-horizontales internos a estas rocas sedimentarias. Las soluciones entre 0 m y -2000 m coinciden principalmente donde aflora las volcánicas de Caicara. Interno a estas rocas, existen gradaciones de cristalización semi-horizontales, y los mayores espesores se ubican en el sistema de rift y entre la zona de sutura y el arco volcánico. Esto infiere que las rocas volcánicas fueron cristalizadas probablemente en los alrededores de las cámaras magmáticas, zonas que se encontraban mucho más cerca de superficie.

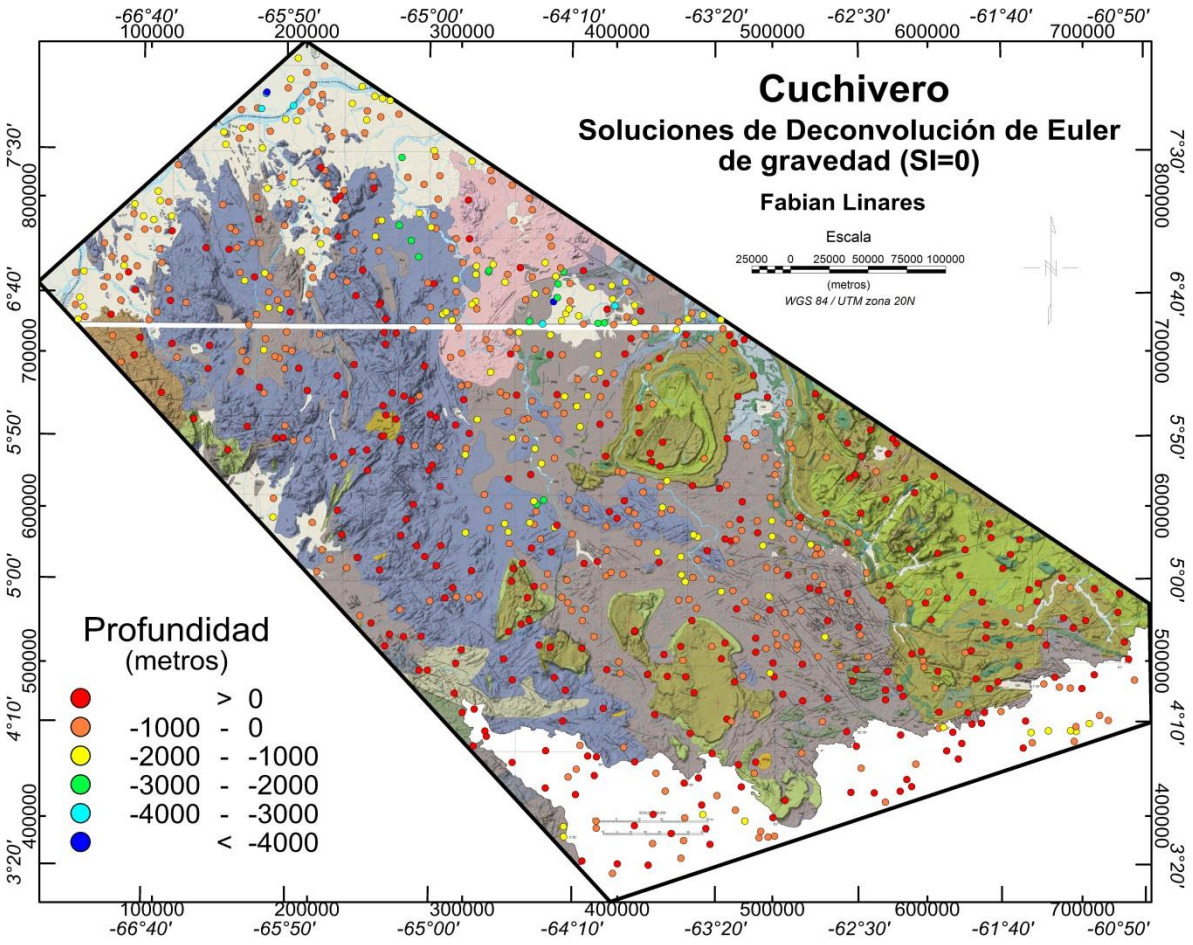


Figura 77. Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Cuchivero, SI=0.

La Figura 78 muestra las profundidades de solución calculadas con SI = 1. En este caso particular, al índice estructural considerar otras estructuras de dimensiones parcialmente finitas, se observan gran cantidad de soluciones entre -1.000 m y -2.000 m que coinciden con cambios de composición generales de Cuchivero. En zonas donde se infieren sistemas compresivos las profundidades se acercan a superficie. Las soluciones de mayor

profundidad, en el rango entre -3.000 m y -4.000 m se ubican en zonas de cambios abruptos de composición, principalmente en el contraste entre rocas volcánicas y rocas intrusivas.

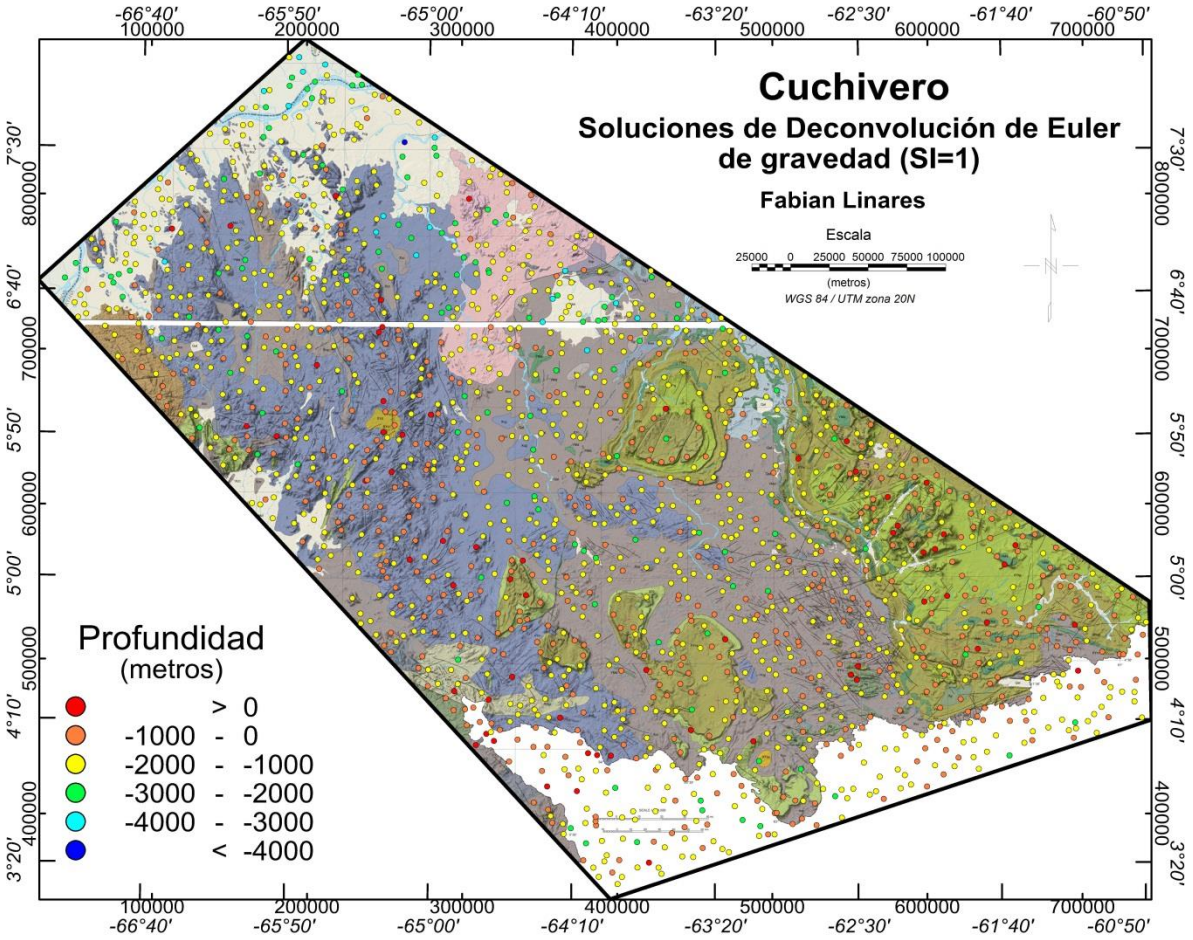


Figura 78. Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Cuchivero, SI=1.

Cuando se utiliza el índice SI = 2 (Figura 79), la distribución y profundidades resultantes son similares al anterior. Esto sugiere que los contrastes que la herramienta muestra son de dimensiones probablemente finitas en profundad, pero de incalculable extensión lateral.

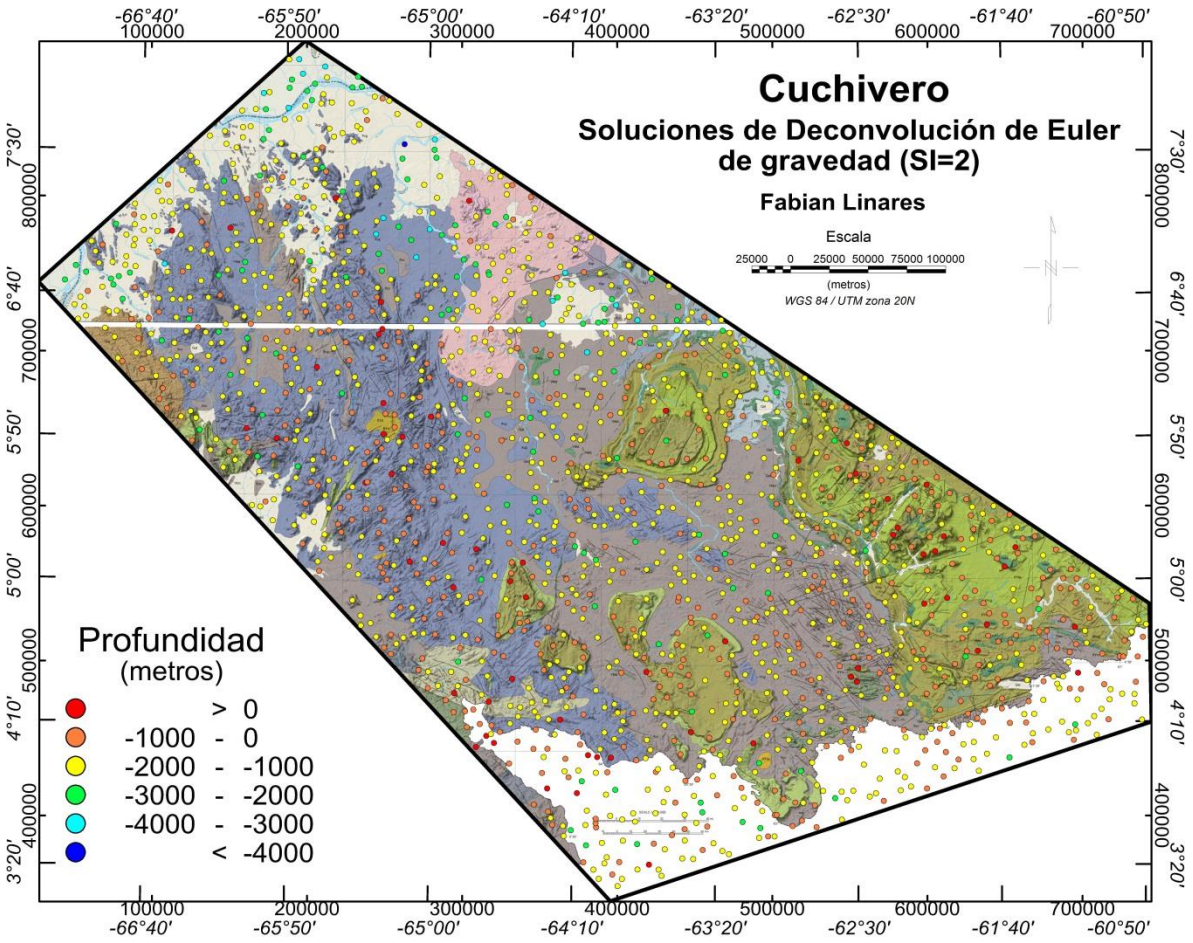


Figura 79. Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Cuchivero, SI=2.

Los resultados e interpretación de los perfiles generados mediante la deconvolución de Werner y Señal Analítica se encuentran en los Anexos de este documento. Los mismos constituyen información relevante que amplían y complementan la interpretación de la geología y estructura de esta provincia a partir de los datos de gravedad. Los mismos constituyen fundamentos que nutrirán las conclusiones.

CAPÍTULO VI
AMAZONAS

En este capítulo se describen las propiedades de gravedad y magnéticas de provincias petro-tectónicas ubicadas en el Estado Amazonas junto a la sección más occidental del Estado Bolívar, debido a la presencia de los granitos de Parguaza. Hacia el norte del área, en términos generales, se ubica parte del Grupo Cuchivero y de la asociación Caicara en pequeña medida, y rocas pertenecientes al grupo de granitos rapakivi de Parguaza (1,59 Ga – 1,51 Ga). El resto del Estado ha sido dividido en diferentes provincias petro-tectónicas pero que, en conjunto, han sido nombradas en trabajos anteriores como el cinturón de Río Negro (1,86 Ga – 1,72 Ga).

Esta región a su vez incluye intrusivos graníticos mesoproterozoicos – sobre todo hacia Brasil - como Mucajaí, Surucucú, Mitú, Vaupés e Isana. El granito de Parguaza forma parte de este conjunto. A su vez, se presentan cubiertas de plataforma más jóvenes como las areniscas plegadas de Neblina, Cinaruco, La Pedrera, Naquén, Taraira y Tunuí en rango de edades entre 1,3 Ga y 1,2 Ga.

La composición química en elementos mayores y trazas de los granitos de Parguaza es similar a los granitos tipo A. Estos muestran zonamiento inverso (rocas más félsicas hacia dentro del plutón y más máficas en los bordes, y ocupan una gran superficie desde los Pijiguaos al este hasta Puerto Ayacucho al oeste y desde el río Orinoco al norte hasta el río Ventuari en Amazonas Sur (Mendoza, 2005).

En este grupo de granitos se incluyen todos aquellos anarogénicos o post-tectónicos, tipo A, los cuales muestran, al menos localmente textura rapakivi. El cratón San Francisco, fuertemente afectado por la orogénesis Brasiliano-Pan Africano no registra granitos rapakivis. Esto concuerda con la correlación del cratón Amazónico con el escudo Báltico-Laurentia, ambos con abundantes volúmenes de granitos rapakivis.

El proceso de formación de estos granitos ocurre por fusión parcial de material basal de la corteza, con/sin aporte de material del manto superior, en ambientes de distensión o rifts continentales, es decir, ambientes intracratónicos. Al tomar esto en consideración, es notable la correlación de los procesos tectónicos descritos hasta este apartado. Este régimen ocurre posterior al cierre y migración del borde de subducción de la provincia Cuchivero. Los eventos distensivos que permitieron la cristalización de estos granitos esta correlacionada, parcialmente, con los sistemas estructurales observados en los capítulos anteriores, sobre todo, en los concernientes a Cuchivero y Pastora.

En el Estado Amazonas afloran en orden de mayor a menor de tectonodeformación y metamorfismo, los siguientes conjuntos de rocas:

a) Gneises y Migmatitas tipo Minicia, Macabana, Maroa, etc.
b) Metasedimentos de medio grado metamórfico del Siapa.
c) Rocas graníticas y relacionadas, foliadas y levemente metamorfizadas: granitos – volcánicas ácidas – andesitas – basaltos.
d) Metasedimentos pre-Roraima tipo formaciones Unturán, La Esmeralda, etc.
e) Granitos anarogénicos, postectónicos tipo atabapo, Inírida, San Carlos, Cucuy, Parima, etc.
f) Complejos alcalinos y relacionados tales como La Churuata.
g) Sedimentos Grupos pre-Roraima y Roraima.
h) Carbonatitas de Seis Lagos y kimberlitas.

Las edades disminuyen del NE hacia el SSO y, por lo contrario, el metamorfismo aumenta en esa dirección. Las rocas volcánicas y plutónicas graníticas similares a las de las Volcánicas de Caicara y granitos del tipo Asociación Cuchivero de las cuencas de los ríos Asita y Parucito, es decir con poco o nada de metamorfismo, presentan una edad de Cuchivero, o sea 1.860-1.730 Ma (Gaudette & Olsewsky, 1.985), mientras que los gneises tonalíticos de Minicia y Macabana entre Atabapo y Santa Bárbara, idénticos a los gneises del Complejo de Supamo y Bártica y considerados como el núcleo Pakaraima de edad Paleoproterozoico e incluso Neoarqueozoico, aquí solo dieron edades en Rb/Sr de 1.78 a 1.82 Ga (Barrios *et al*., 1.985, en Mendoza, 2005).

El mapa geológico de la región de Amazonas (Figura 80) muestra la gran heterogeneidad del área que, separando por provincias geológicas, se podría sugerir que el norte del estado se encuentra probablemente compuesto tanto por la asociación Cuchivero y Caicara como por los granitos de Parguaza. A partir del paralelo 4° hacia el sur, con excepción de la sección de Caicara al este del Estado, la geología se agrupa en lo que ha sido definido por otros autores como Cinturón Río Negro (1,86 – 1,72 Ga). La frontera hacia Brasil, hacia el este, el cinturón que aflora es de alto grado metamórfico de edades entre 2,08-2,02 Ga (1,96 Ga para Kanuku), compuesto por rocas granulíticas y graníticas, entre otras.

Los espectros de potencia de los datos de gravedad y de magnetismo (Figura 81) revelan interesantes características de la región, no vistas previamente debido a la amplia ventana que esta vez ha sido considerada. Al aumentar el tamaño de ventana para el cálculo, mayores longitudes de onda pueden ser cuantificadas y, por ende, es posible calcular otra interfase de contraste más profunda. A partir de los datos de gravedad, Mohorovicic se ubica a una profundidad aproximada de 46 km, donde la isoterma de Curie se ubica a 49 km aproximadamente calculada a partir de los datos magnéticos. Existe un contraste composicional importante a nivel intracortical que coincide para ambos conjuntos de datos entre 18 km y 17 km aproximadamente, que podría coincidir con la interfase de Conrad. La gravedad a nivel somero induce un contraste a 4 km aproximadamente, que podría coincidir en promedio con algún contraste de corrimientos entre provincias. Los diferentes contrastes intermedios que representan los datos magnéticos podrían ser debido a diferencias composicionales intracorticales que no necesariamente representan diferencias significativas en densidad. Debido a que diferentes rocas se encuentran amalgamadas y metamorfizadas, es probable que las propiedades magnéticas permitan su diferenciación, pero en términos de densidad, quizás sean similares a grandes rasgos.

El espectro de gravedad muestra sin embargo un contraste muy profundo, a casi 80 km, que no había sido reportado en capítulos anteriores. Si tomamos en consideración el modelo evolutivo en la región, un conjunto de cinturones móviles que fueron amalgamándose, en un ambiente de subducción migrante, esta profundidad podría representar algún vestigio de losa de subducción parcialmente fundida. Es decir, parte de la losa abortada durante quizás el último episodio de subducción en la zona (o última migración dentro del área) se

encuentra allí entrampada por el cambio de sistema tectónico posterior a la colisión (Figura 81).

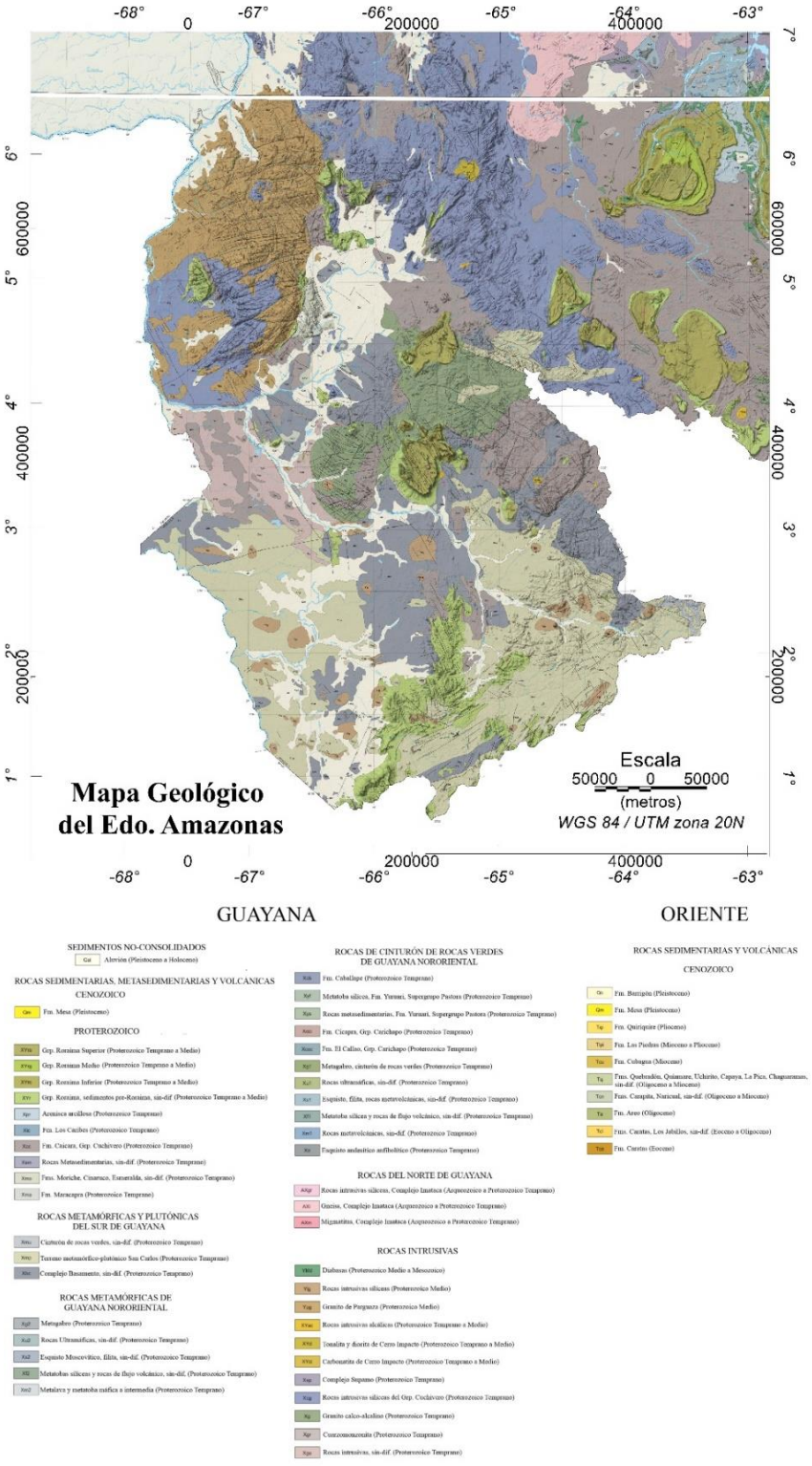


Figura 80. Mapa geológico de la provincia del Edo. Amazonas (Hackley *et al*. 2005).

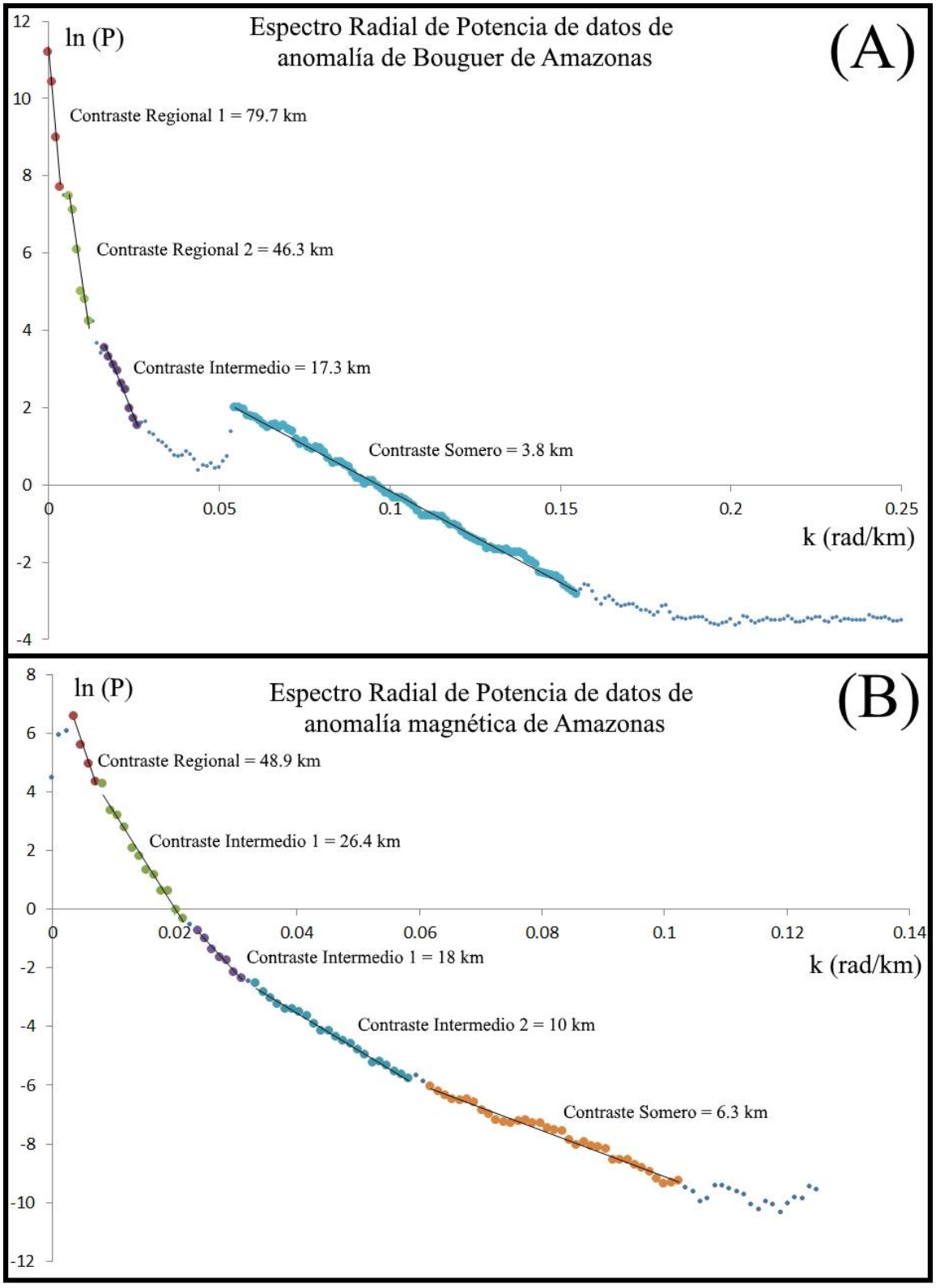


Figura 81. Espectros radiales de potencia de Amazonas. a) Datos de gravedad; b) Datos de magnetismo.

El mapa de anomalías de Bouguer (Figura 82) presenta un leve filtrado paso banda de longitudes mayores a 5 km (0,2 rad/km) para corregir el ruido que presenta los datos y permitir el cálculo efectivo de elementos de procesamiento para la interpretación. La caracterización inicial que se percibe del mapa es que la mayoría de las anomalías localizadas dentro del Estado Amazonas son de magnitudes negativas, con un mínimo regional de -153 mGal y un promedio de -34 mGal. Esto sugiere el carácter continental que presenta el área, composicionalmente dominada por granitos. Hacia los bordes, anomalías positivas hacia Brasil y Colombia se encuentran sugiriendo un aumento de la densidad de las rocas o somerización de las interfases dominantes, como Mohorovicic. El valor máximo de anomalía de gravedad es de 48 mGal.

En términos de longitudes de onda, el mapa presenta mucha influencia residual, quizás propiciada por las dimensiones de la ventana (efecto visual). Sin embargo, las anomalías de mayor amplitud se ubican hacia Colombia (que contiene los máximos de anomalía), y aquellas que se orientan pseudo N-S en el Estado Amazonas de valores negativos.

El mapa en aspecto general representa principalmente cambios composicionales y sistemas estructurales a niveles someros e intermedios, ya que coinciden en la mayoría de los casos cambios de anomalía asociados a sistemas de fallas y contactos mapeados en superficie. El mapa magnético por otra parte, por su regionalidad, muestra un sistema de estructuras muy profundas y diferentes, que coinciden con algunos patrones estructurales de mayor envergadura e influencia. Al analizar el mapa regional de gravedad en comparación con el magnético se hace evidente la diferencia.

La primera zona para analizar en detalle a partir de este mapa deben ser los granitos de Parguaza. En el mapa geológico desde el paralelo 5°N hacia el norte, este bloque es bastante homogéneo, infiriendo que la mayoría se encuentra compuesto por Parguaza hacia este sector. Hacia el sur de esta latitud (y hasta donde Parguaza aflora), estos granitos se encuentran en contacto con Cuchivero, incluso pudiendo sugerirse que la relación de área por composición es de 50/50 aproximadamente entre ambas litologías. Otro cambio relevante es el hecho de que el norte del bloque tiene un patrón estructural orientado casi E-O, y en su sección sur, el patrón conserva esta orientación solo en su sección oriental y suroriental. Por debajo de la mencionada latitud, existen dos fallas principales que

controlan estos patrones, una con disposición NE-SO (similares a los sistemas de fallas de menor longitud) que atraviesa todo el bloque, y otro con disposición NO-SE (perpendicular al anterior) de menor longitud que concuerda con los patrones de falla que cortan a los anteriores en el norte del bloque. Hacia el oeste de esta falla, pocos sistemas estructurales son mapeados. Estos cambios de composición y estructura son muy bien representados por la anomalía de Bouguer, ya que la mayoría donde aflora Parguaza, el valor de anomalía es negativo, pero de mediana intensidad, pero donde aflora Cuchivero, la anomalía cambia hacia mayores intensidades, acercándose a valores positivos, todo controlado por esta especie de triangulo que domina los sistemas estructurales y de contacto.

Los granitos de Parguaza (1,55 Ga) son anarogénicos más jóvenes que el Grupo Cuchivero, y por ende, no están asociados a la etapa subductante del sistema. Fueron intrusivos que se emplazaron posteriormente mediante corteza reciclada. Numerosas intrusiones a lo largo de toda la región son más jóvenes que los períodos principales intrusivos donde se formaron Cuchivero y Supamo, lo que conlleva a pensar en una losa abortada aun fundiéndose y permitiendo ascenso de roca luego de haber cesado la subducción. Los granitos de Parguaza son diferentes al resto de intrusivos porque la corteza reciclada de la cual provienen seguramente formaba parte del continente, cercano a la etapa de colisión. Los sistemas estructurales a niveles intermedios (someros para esa corteza antes de la erosión) tuvieron que fijar un límite que impidió la masiva y libre circulación de magma hacia el suroeste. Toda la zona de Cuchivero en contacto con Parguaza evidencia el mismo patrón de anomalía en términos de magnitud, generalmente aumenta, en contraste con el resto de Cuchivero. Eso sugiere que la alteración termal que ocurrió por la intrusión de Parguaza permitió la modificación en términos de densidad de estas rocas.

En la confluencia de los ríos Ventuari y Orinoco, por el paralelo 4°, la litología y lo estructural cambian drásticamente, y así lo hace la anomalía de gravedad, mostrando longitudes de onda más largas y de mayor o menor magnitud relativa. Esto sugiere que al momento de intrusión de la provincia de Cuchivero, la misma debió tener una disposición relativa más aproximada a E-O, y que la curvatura actual es producto de procesos extensivos hacia el noroeste de la provincia. Estos procesos han demostrado además ser recurrentes a lo largo del Escudo, asociados a la migración de la subducción.

Es probable que el margen de subducción tuvo una rotación antihoraria, y que la colisión final se diera en un marco donde el margen se encontraba relativamente E-O, con sistemas extensivos internos NO-SE. Al colisionar el bloque de Río Negro, ocurre la inversión de todos los sistemas de rift anteriores en Cuchivero y Pastora, ayudando también a la curvatura que presentan las provincias actuales.

La disposición de los contactos, sobre todo de los correspondientes a Río Negro y Kanuku, sugiere que la colisión la dominó este nuevo bloque, que sobrecorrió a las ya amalgamadas provincias. Es por ello por lo que, hacia el este del Estado Amazonas, aflora basamento sin diferenciar en contacto con Kanuku, donde ambos bloques fueron exhumados y colocados sobre Uraricoera-Trairao-Urubu en Brasil, y hacia Venezuela, la plasticidad de Cuchivero para el momento permitió una colisión de menos influencia tectónica.

La siguiente zona para analizar constituye el este y sureste del Estado Amazonas, hacia la frontera con Brasil. Esta se caracteriza por contener una gran variabilidad geológica, un basamento formado por gneises granitoides y esquistos cloríticos pelíticos, rocas volcánicas y piroclásticas (tipo Caicara) que cubren el basamento, rocas plutónicas (tipo Cuchivero, granitos calco-alcalinos), y una secuencia meta-sedimentaria, además de intrusiones tipo raspakivis. Hacia el sur, metasedimentos tectonizados y remanentes de CRV sobre un basamento de gneises tonalíticos y trondjemiticos y migmatitas equivalentes, donde toda la secuencia ha sido intrusionada por granitos y granodioritas anarogénicas o postectónicas (menor a 1,7 Ga).

En términos de gravedad, la zona se encuentra formada por un conjunto de anomalías negativas de alta magnitud, alineadas NO-SE, y que podrían estar relacionadas a la orientación que presentan las provincias a nivel intracortical. A su vez, de norte a sur, estas anomalías se encuentran separadas por altos valores de gravedad de similar orientación. La zona se caracteriza por presentar hacia Brasil un alto de gravedad que parece corresponder con un bloque exhumado de Kanuku, representando la anomalía de cierto modo el sistema estructural. Por el paralelo 3°N, parece existir un sistema de fallamiento rumbodeslizante, que separa a su vez el conjunto de anomalías en sentido E-O.

Al sur de este sistema, se sugiere que parte de lo que corresponde al terreno de San Carlos se encuentra sobrecorriendo a la prolongación del cinturón que conforman Uraricoera-

Trairao-Urubu-Anauá, siendo el límite del corrimiento una falla de rumbo ubicada justo en la frontera entre Venezuela y Brasil. Es probable, además, que parte de lo que ha sido denominado basamento sin diferenciar, constituya la prolongación de este cinturón.

Hacia la región más meridional del Estado Amazonas, la gravedad se encuentra dominada por el conjunto de intrusivos y por los sistemas de fallas que corren en sentido OSO-ENE, y hacia el occidente (en la frontera con Colombia) y centro se presentan dos bloques tectónicos: el de mayor tamaño que ocupa al terreno San Carlos y al conjunto posterior de intrusivos en toda la secuencia, donde algunos de ellos son correlativos a Parguaza, y una cuña triangular de menor tamaño entre 3°N y 4°N de latitud compuesta principalmente de rocas intrusivas, volcánicas de Caicara o equivalentes, y basamento sin diferenciar. Esta cuña se encuentra delimitada por fallas de cinemática por el momento inciertas en su borde sur, y por un graben en su frontera este. Hacia el norte limita tectónicamente con los granitos de Parguaza y Cuchivero, y hacia el oeste con terrenos del Grupo Río Negro.

Todo el occidente del Estado Amazonas parece estar tectónicamente levantado, o en su defecto, la composición de las rocas hacia este sector debe ser diferente a la preponderancia granítica de la región. Toda la frontera con Colombia, en términos de gravedad, es de longitud de onda larga, con valores de anomalía positivas en torno a los 20 mGal.

Por otra parte, el mapa magnético (Figura 83) muestra algunas características que el mapa de gravedad no hace, revelando limites evidentes (a niveles corticales profundos) entre la influencia de Cuchivero y lo que correspondería a la franja de rocas preexistentes y a la posterior adhesión de Río Negro. Se puede apreciar incluso el límite donde Río Negro inicia a componer la mayor parte de la corteza, que grosso modo coincide con la zona de altos de gravedad en el suroeste de Amazonas. Es probable que, en efecto, esta región consista en un sistema de triple sutura, pero a niveles corticales muy profundos. La realidad superficial es que todo se encuentra sobrecorrido y movido por fallas de rumbo.

En principio, parece el mapa concordar con que la migración del margen de subducción tuvo que contener una rotación antihoraria parcial, sugerida por la orientación intracortical que presenta Cuchivero, y que difiere de los sistemas estructurales observados en el eje principal de la provincia, es decir, lo analizado en el capítulo anterior.

En este mapa, para reducir su efecto por la inclinación del campo y poder ubicar las estructuras, se llevó a cabo la reducción al ecuador de los datos, con los valores mostrados en la Figura 84 para declinación e inclinación.

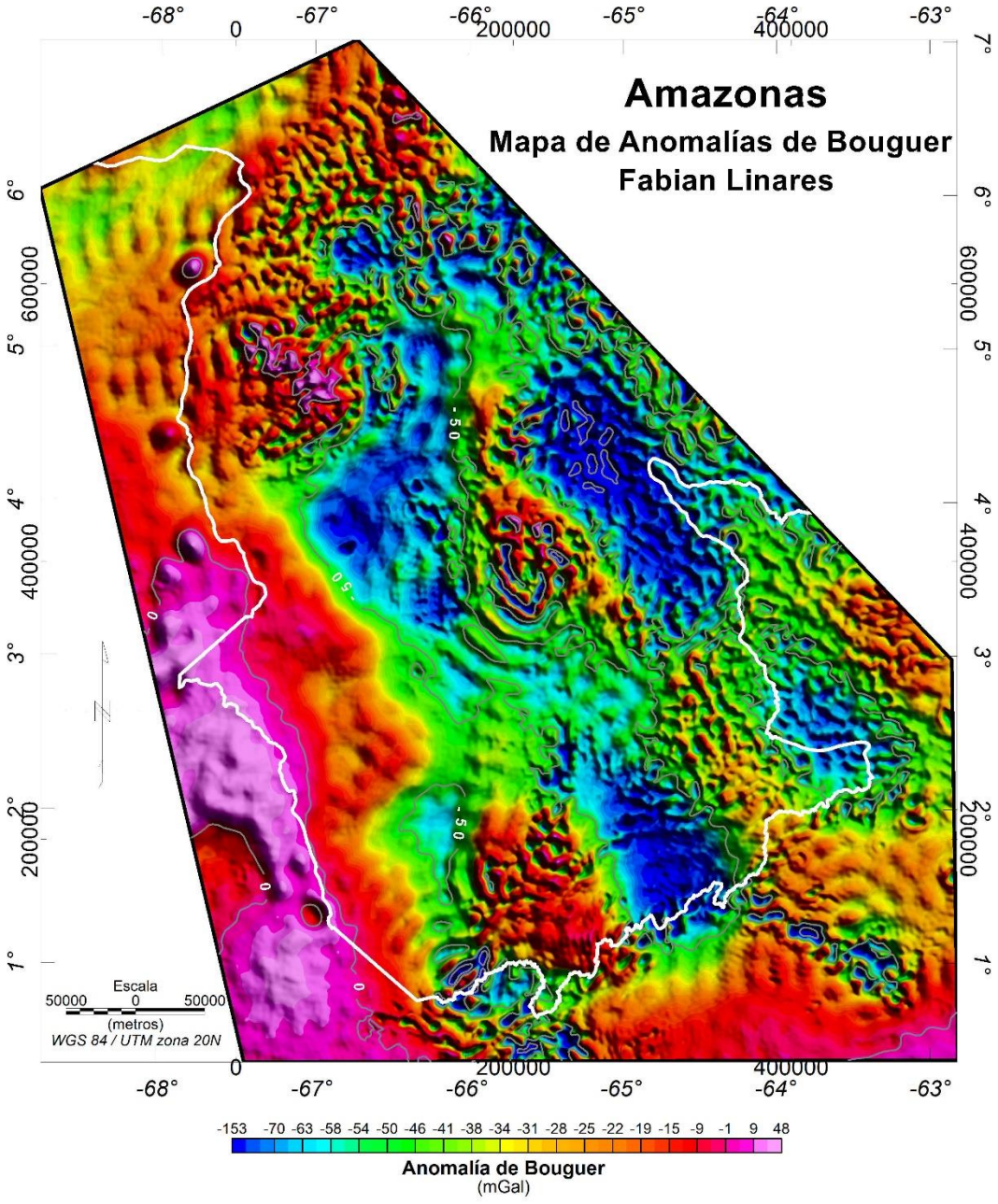


Figura 82. Mapa de Anomalías de Bouguer del Estado Amazonas, modelo EIGEN-6c4.

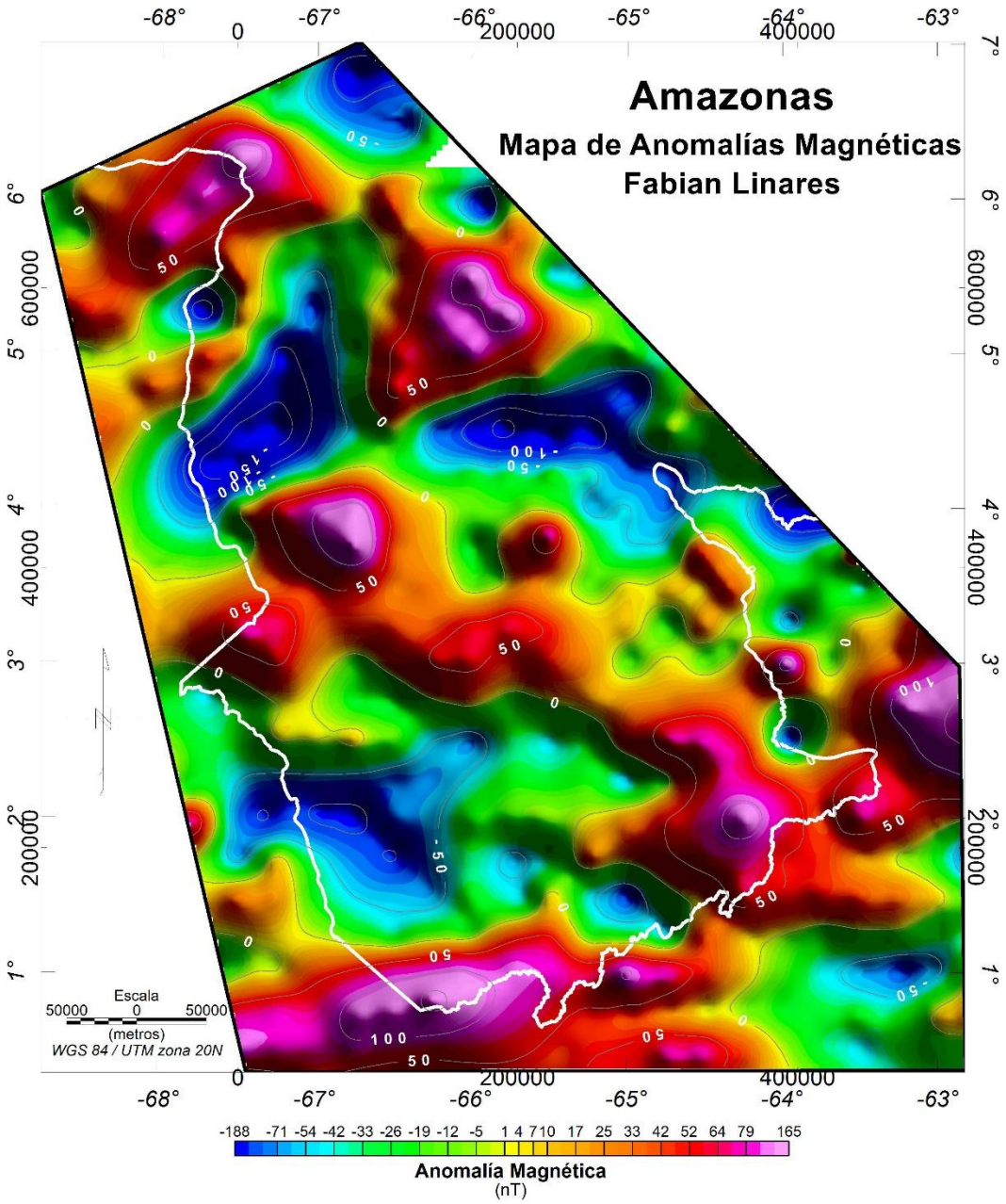


Figura 83. Mapa de anomalías magnéticas del Estado Amazonas, modelo EMAG2.

El mapa reducido (Figura 84) presenta un rango de anomalías entre -126 nT y 117 nT, donde las anomalías negativas se encuentran principalmente relacionadas a los granitos de Cuchivero y a la sección engrosada de Río Negro. A pesar de que esta última aflora también hacia el noreste, su baja influencia en el campo magnético sugiere que este afloramiento podría constituir un gran bloque sobrecorrido. La orientación de las anomalías

positivas concuerda con la prolongación en subsuelo de los cinturones de alto grado, como Uraricoera.

Es observado un conjunto de sistemas de fallas de rumbo que corren en dirección mayoritariamente ESE-ONO hacia el sur del Estado. Parecen representar los sistemas que permiten el movimiento de cabalgamiento de Río Negro sobre los cinturones en los laterales, es decir, la colisión no fue frontal, sino oblicua, y a lo largo del borde de subducción, la conducta del margen no fue homogénea debido probablemente a las diferentes competencias de las rocas.

A partir de ello se indica que a nivel cortical existen evidencias que respaldan la hipótesis de una subducción y posterior colisión entre tres (3) grandes bloques o provincias: Cuchivero, Cinturones de alto grado y Río Negro. La cinemática de los cuerpos es difícil de inferir.

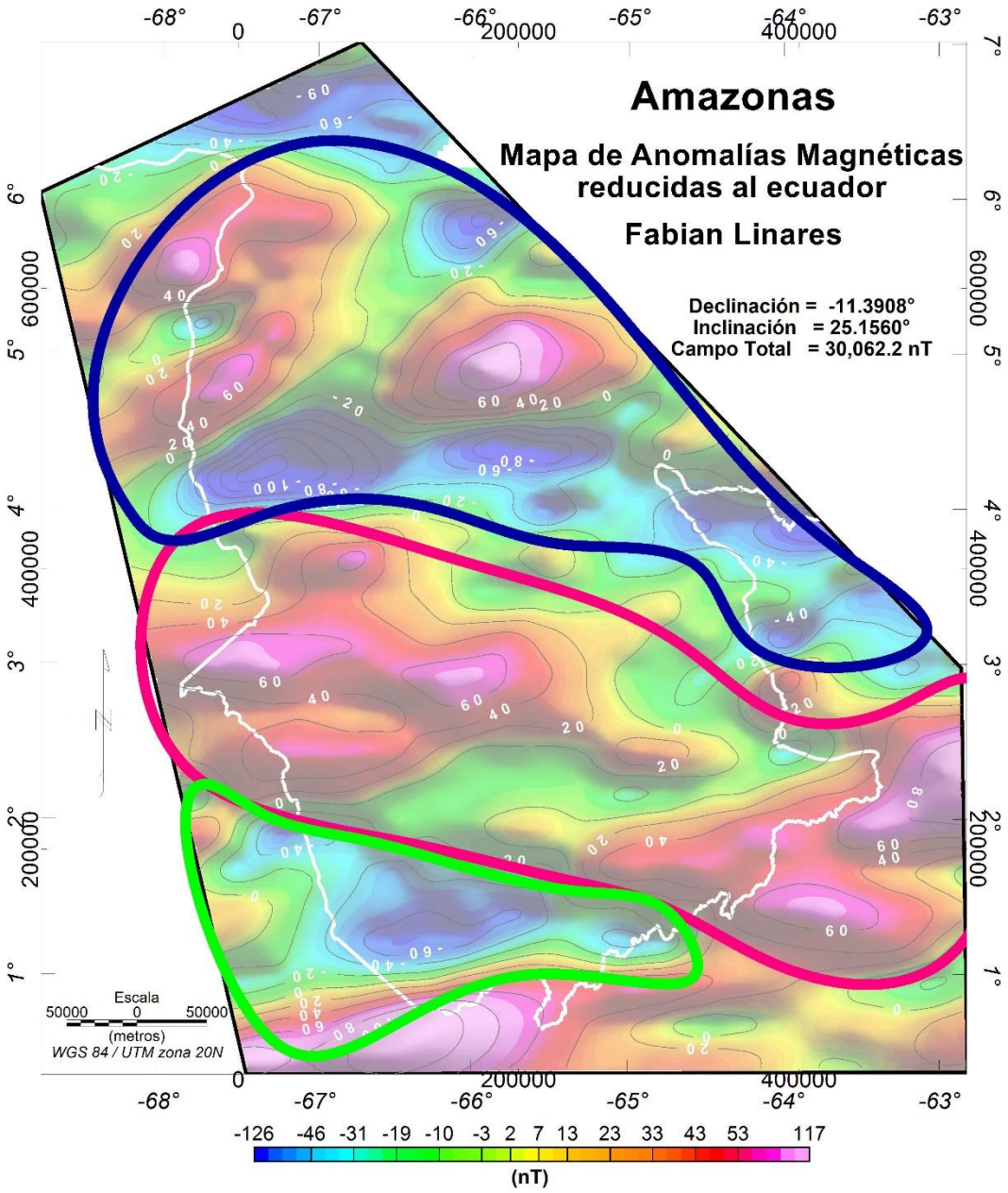


Figura 84. Mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador del Estado Amazonas, modelo EMAG2. Zona en polígono azul = dominio cortical Cuchivero; zona de polígono rosado = dominio cortical de cinturón de rocas de alto grado; zona en polígono verde = dominio cortical Río Negro.

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL

El mapa de anomalías regionales de Bouguer (Figura 85) revela la configuración estructural actual de la región, principalmente lo que corresponde a niveles corticales superiores a

Conrad. Iniciando por el norte de la región, se observa que la influencia de Parguaza motiva a un incremento de la gravedad de la provincia Cuchivero, al ser comparada con los valores que se venían presentando para la misma, acercándose al 0 mGal. En el mapa, con línea de guiones espaciados, se infiere el límite de influencia que presenta este bloque, prácticamente hasta la frontera con el río Orinoco que limita con ella en su sección sur. El cambio de dominio podría ser descrito como de falla de rumbo, pero su influencia no alcanza niveles importantes de profundidad.

Toda la frontera occidental del Estado Amazonas que colinda con Colombia, se encuentra levantada tectónicamente. Dicho esto, la zona de triple sutura se encontraría alrededor de los 2,5°/-66,8°, donde se evidencia a nivel profundo un sistema triangular que marca los cambios de dominio principalmente en las magnitudes de las anomalías (altas magnitudes hacia el suroeste y noroeste del mapa, en contraste con las magnitudes bajas del resto del mapa).

Hacia el centro y sureste de la región, y hacia el territorio brasileño, sistemas de corrimientos y fallas normales son evidentes, donde existen zonas deprimidas y zonas exhumadas y corridas tectónicamente. Estos patrones revelan el régimen tectónico post-colisión. El borde se subducción constituía una zona relativamente orientada E-O (como la tendencia de Cuchivero induce), pero la aproximación entre el bloque de Río Negro y lo que ya estaba amalgamado hacia el Este fue oblicua. El punto de triple sutura es evidencia de este diferencial de esfuerzos. La subducción entre Río Negro y Cuchivero probablemente fue leve, sin mucha deformación tectónica, pero en efecto, consumió mucho material cortical que permitió las intrusiones posteriores. Cuando masa continental alcanza a los cinturones (Kanukú y Uraricoera) el proceso de colisión inicia, dominado tectónicamente por los bordes occidentales de tales cinturones. Allí se aborta el margen de subducción con Cuchivero al principio, y luego con los cinturones. Esto generó la losa de subducción abortada que probablemente se observa mediante el espectro de potencia de gravedad. Al iniciar la colisión, varios terrenos que formaban parte del basamento son exhumados, y a medida que la colisión evoluciona, estos terrenos exhumados sobrecorren a bloques más recientes. Es por ello que tenemos evidencias de CRV hacia el sur de Amazonas, e incluso un bloque de Kanukú de gran envergadura del lado brasileño con

disposición diferente a la que originalmente presentaba este cinturón (paralelo a Imataca). La gravedad sugiere que este bloque de Kanukú se encuentra corrido sobre un cinturón más reciente. El contraste de densidades es evidente. Posteriormente, y probablemente al culminar la colisión, estando la fuerte actividad termal aún presente en la región (por la losa abortada aun fundiéndose), ocurren colapsos post-orogénicos, generando sistemas de depresión intermedios a los frentes de corrimiento predominantes sin ninguna relación aparente con la litología aflorante. Estas depresiones se encuentran tanto en la provincia San Carlos, como en Cuchivero, como en el basamento sin diferenciar o las intrusivas más antiguas que ya venían amalgamadas y conformaban a Río Negro.

En las rocas que conforman la provincia petro-tectónica de Siapa, existe un sistema de transpresivo que permitió el corrimiento de algunos remanentes de CRV, lo que supone y podría llegar a confirmar que geográficamente esta región (Amazonas) era el límite de los cinturones de alto grado, ya que los CRV se habían formado con la apertura entre estos cinturones y su equivalente en Imataca.

Todos los sistemas estructurales mencionados también afectaron la tendencia magnética de la región, que se puede observar principalmente las zonas donde ocurre movimiento rumbo-deslizante. Esto sugiere que estos sistemas se encontraron activos incluso antes de la colisión, y que permitieron el reacomodo de los grandes bloques. A nivel cortical profundo, la corteza de Amazonas debería estar compuesta principalmente por los cinturones de alto grado en la parte central, Cuchivero hacia el norte, y Río Negro hacia el sur. Si bien aflora en gran parte del territorio central y meridional Río Negro (a través de los gneises de Mitú y San Carlos), gran parte de estas secciones fueron cabalgadas. Otra posibilidad es que, lo que ha sido representado como “basamento sin diferenciar” y que ocupa gran parte de la región central de Amazonas, no sea realmente componente de Río Negro, es decir, no haya venido amalgamado a este bloque, sino que se relaciona a los cinturones preexistentes como Uraricoera.

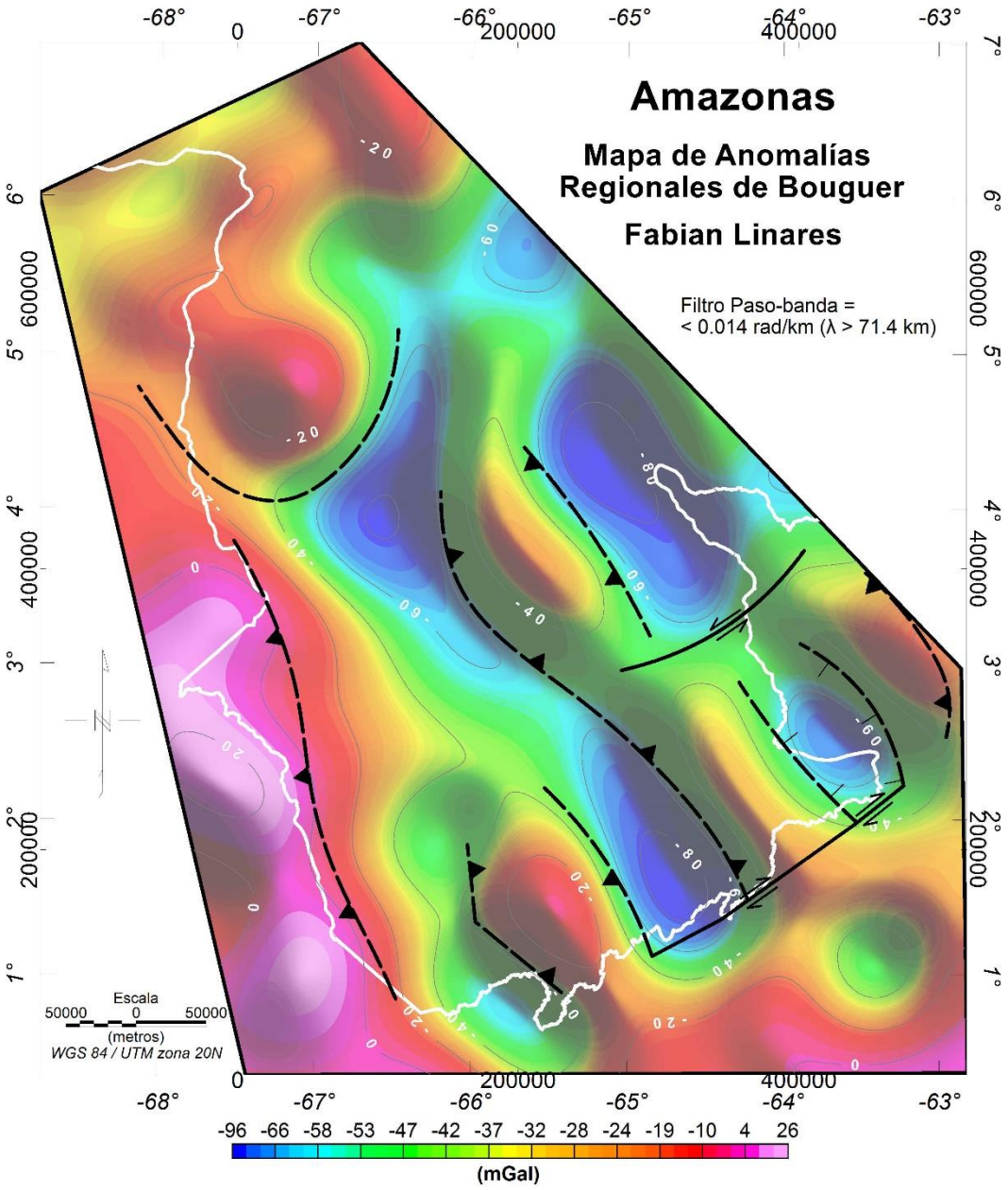


Figura 85. Mapa de anomalías regionales de Bouguer, modelo EIGEN-6c4.

El mapa de anomalías residuales de Bouguer (Figura 86) ha sido dividido en diferentes zonas a partir de sus magnitudes y longitudes de onda contrastantes. También se dibujan rasgos tectónicos principales que condicionan la configuración e interacción entre los diferentes cuerpos de roca. La descripción se realizará de norte a sur y de oeste a este.

La zona 1, que comprende básicamente los contactos entre granitos rapakivi de Parguaza y Cuchivero, delimita la naturaleza del sistema intrusivo, presentando éste una morfología

radial con dos focos principales de calor. En el más septentrional, lo que rodea al círculo dibujado corresponde al granito más reciente, evidenciado por una gravedad más alta que los pequeños remanentes de Cuchivero. El meridional consiste en un sistema concéntrico, donde parece que los focos de calor se encontraban en el centro y hacia las faldas del sistema volcánico. Esta zona en conjunto se encuentra limitada al sur por un contacto semicircular con el cinturón de Rio Negro, que sugiere ser el último anillo de alteración termal. Es por este motivo que la zona se encuentra cubierta de sedimentos recientes al ser el material menos resistente a la erosión. Este evento termal ocurre posterior al que permitió la cristalización de Cuchivero y Caicara por migración del margen y reciclaje de corteza semi-continental justo antes de la colisión plástica. Es evidente ahora que la provincia de Cuchivero realmente presenta una disposición NO-SE con una leve concavidad hacia el sur, en contacto con los cinturones de alto grado (Uraricoera y Kanuku por ejemplo). Similar al límite oriental de estos cinturones donde son truncados por Cuchivero en Surinam y Brasil, análogamente podría suceder a nivel cortical intermedio en esta zona.

En los polígonos numerados con 2 afloran pequeños cuerpos de Caicara ubicados al sur del eje principal o central intrusivo de Cuchivero. Lo interesante de esta región en particular es el sistema tectónico que separa a Cuchivero de los cinturones de alto grado a nivel cortical. Tanto al norte como al sur de este sistema se encuentran bloques cabalgados, como el bloque exhumado del cinturón Kanukú en la frontera oriental del Edo. Amazonas. Sin embargo, la naturaleza del sistema por ahora es indeterminada, ya que las herramientas aplicadas hasta este apartado no permiten hacer inferencias. Posiblemente sea un contacto ígneo sin cinemática relevante, aun cuando en el capítulo anterior se observaron sistemas de corrimiento en la frontera entre el Edo. Bolívar y Brasil.

La zona 3 representa la mayor complicación composicional y estructural del Estado. Para ella se incluirá en el análisis el conjunto de estructuras ubicadas al oeste de la misma. En primera instancia, en lo que concierne al área estrictamente contenida en el polígono, parece existir un cambio de composición importante a nivel cortical, que por sus longitudes de onda no traspasa hacia la corteza inferior. Este cambio de composición probablemente se relaciona a lo termal, durante la etapa de movimiento de los diferentes bloques, y a su vez,

constituye la alteración de un bloque de basamento sin diferenciar sobre-corrido a los cinturones de alto grado. La orientación aparente de este corrimiento es NO-SE, similar a la disposición que presentan los sistemas estructurales hacia el oeste del polígono, siendo uno de ellos la zona 4. A partir del polígono hacia el oeste, se presenta una intercalación de depresiones y altos. Los altos se encuentran marcados por anomalías altas, mientras las depresiones estructurales en anomalías bajas. La composición aparente a nivel superficial de este sistema intercalado es de Río Negro. Estos sistemas a su vez presentan prolongación hacia el sur (como se presenta en la zona 4), casi hasta la frontera del país. A los 3° de latitud aproximadamente un sistema de rumbo quiebra la continuidad de las estructuras, revelando la cinemática predominantemente dextral de todos los demás sistemas de rumbo. Hacia el sur de este polígono 3, el déficit de gravedad presente entre esta zona y la número 5 se debería a la compensación de material relativa, producto del movimiento de esta falla y aquellas ubicadas en la zona 5 también de cinemática aparente dextral.

Al sur del bloque 2 más meridional (3°N/65°O), se presenta un graben de orientación SO-NE producto de esta interacción recién mencionada conjugado a una falla de rumbo cóncava dextral casi perpendicular al graben. Esta última falla marca el límite relativo del bloque de basamento cabalgado sin diferenciar. De acuerdo a lo observado en la gravedad, este bloque de basamento en este sector particular es superficial, ya que la respuesta de gravedad se asocia mejor al bloque cabalgado de Kanukú.

La zona 4, ya mencionada en el párrafo anterior, constituye una zona de depresión estructural, limitada al oeste con un alto estructural que delimita grosso modo la frontera entre Venezuela y Colombia. Aparentemente, hacia la frontera occidental del área, continua el sistema de altos y depresiones hacia Colombia, pero con menor intensidad aparente.

En las zonas marcadas con el número 5 es donde aparentemente se encuentra el eje central de lo que corresponde con el cinturón de Río Negro (Mitú y gneises de Minicia-Macabana-San Carlos-Cauaburí). Es importante acotar que perece que este cinturón se encuentra quebrado, donde su sección occidental hacia Colombia se encuentra más hacia el norte geográfico en comparación a las zonas 5 que se encuentran marcadas en el mapa. Ambos bloques 5 realmente componen uno solo, separados por un sistema tectónico similar a un pull-apart. Esto tiene como consecuencia evidente el desplazamiento del bloque norte hacia

el este, y del bloque sur hacia el oeste, con el penacho sobresaliente en el punto de triple frontera entre los Estados brasileños de Roraima y Amazonas y el Estado venezolano de Amazonas.

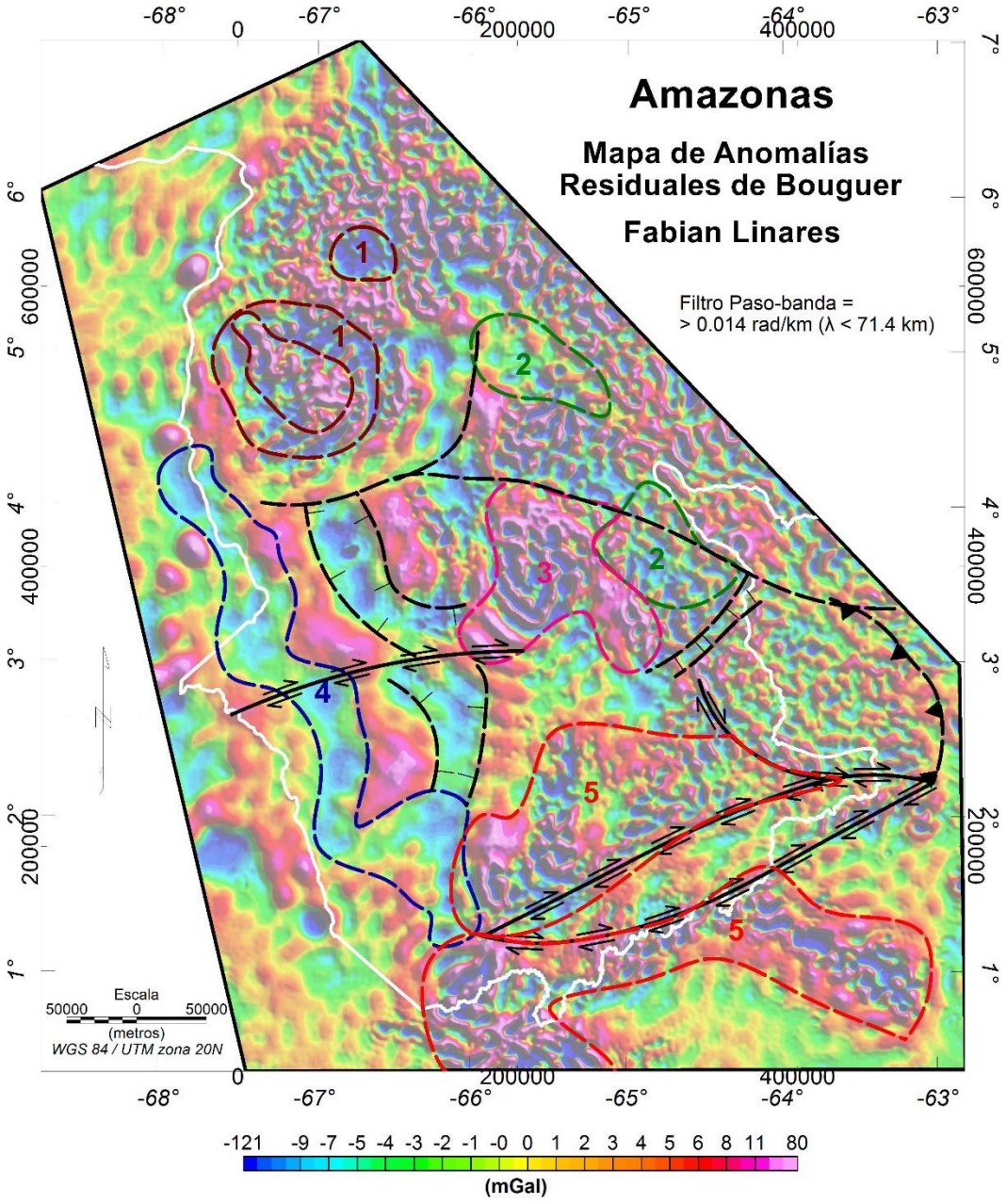


Figura 86. Mapa de anomalías residuales de Bouguer, modelo EIGEN-6c4.

En términos de magnitud, el bloque sur de la zona 5 presenta anomalías residuales de mayor contraste debido a la influencia de rocas intrusivas correlacionadas a los granitos rapakivi de Parguaza. Esta cadena de intrusivos se encuentra dispuesta OSO-ENE, no

necesariamente asociadas al mismo evento termal que generó a Parguaza, pero formadas relativamente sincrónicas. El tamaño de las mismas disminuye de este a oeste, constituyendo un eje de cambios termales cercanos quizás el límite meridional del cinturón.

SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT

El mapa de señal analítica (Figura 87) revela principalmente sistemas estructurales intermedios a someros, basados en los gradientes generados por las variaciones composicionales que estos sistemas ponen en contraste. Hay algunos rasgos estructurales a los cuales no se les puede atribuir su cinemática aparente, sin embargo, el contraste de gradiente es notorio y por ende son marcados en el mapa como líneas de guiones. Estos comprenden aquellas fallas ubicadas hacia los granitos de Parguaza en interacción con Cuchivero entre 4-5°N y 67-68°O, una falla que quiebra el patrón de corrimiento y cambia aparentemente las vergencias, ubicada aproximadamente en -64°/3,5°, y por último un contraste fuertemente marcado hacia el sur del mapa en aproximadamente 1°N y entre 63-64°O. Una característica importante de este mapa que no ha sido dibujada corresponde a las diferencias en magnitudes de gradientes que componen a las sub-provincias petrotectónicas de Casiquiare Norte y Casiquiare Sur, infiriendo diferencias composicionales con una frontera de contacto por el paralelo 3°N aproximadamente, concordando con las interpretaciones de la Figura 88.

Hacia la sub-provincia Maniapiare, el sistema tectónico dominante sugiere ser de levantamiento, si bien ha sido dibujado como un sistema de corrimiento, se pretende ejemplificar el bloque que se encuentra levantado. La parte levantada corresponde en su mayoría con composición de Cuchivero, y al sur de esta expresión, se encuentran las sub-provincias de Alto Orinoco y Ayacucho. La sección que corresponde a Ayacucho se encuentra cubierta de sedimentos recientes, no obstante, estos sedimentos parecen estar alineados con la forma que presenta el límite de Parguaza, y es probable que, debajo de tales sedimentos, se encuentre un sistema de fallas normales dispuestas de modo que formarían un graben.

Hacia el sureste del Estado Amazonas se encuentra la región de mayor complicación a nivel intermedio y superficial (apartando la zona de triple sutura). Esta región que comprende las sub-provincias de Alto Orinoco y Siapa están marcadas por una fuerte influencia de

sistemas de rumbo dextrales, los cuales alteran la mayoría de las tendencias de anomalías y gradientes en los mapas. Estos sistemas tectónicos parecen tener influencia en los primeros kilómetros de corteza, ya que solo aparecen en los mapas de anomalías residuales y de gradientes. El más grande y principal sistema sugiere ser un límite aproximado entre el cinturón de rocas antiguas de alto grado metamórfico (Kanukú) y Cuchivero. No obstante, este sistema de fallas parte a la mitad el bloque de Kanukú exhumado, desplazando el sistema de corrimiento dextralmente. Una falla aparentemente conjugada se desprende de la misma hacia el norte, pero su cinemática es desconocida. Hacia el sur de este sistema principal, se observa un retro-corrimiento producto de competencia que comprenden los bloques de basamento exhumado en contraste con el cinturón de Río Negro. Este retro-corrimiento es truncado en el sur por el sistema secundario de fallas dextrales. Estas fallas generan en primera instancia una sección deprimida gravitoriamente rodeada de levantamientos por colisión debito al movimiento sinestral conjugado de las fallas distributarias. Todo en conjunto es un sistema tectónico que afecta primordialmente a la sub-provincia de Siapa. En territorio brasileño, dos brazos composicionales se desprenden del sistema similar a lo que ocurre al norte del mismo, pero no podría asegurarse que ellos son producto de fallas sinestrales, sino que pueden ser producto de la influencia de cambios composicionales asociados a intrusivos internos a Río Negro.

Hacia el oeste, los gradientes son de menor intensidad, sugiriendo una composición relativamente homogénea para el cinturón de Río Negro, aun cuando existen allí numerosos intrusivos. Lo mayores gradientes hacia esta región se encuentran ubicados ya en territorio colombiano, pero los mismos parecen estar más controlados por cambios de composición que por sistemas estructurales.

En el centro del mapa, entre 65-66°O y 3-4°N, se presentan un conjunto de gradientes concéntricos, que también son mostrados en el mapa de anomalías residuales, que comprende principalmente una sección de basamento sin diferenciar levantado, quizás alterado por procesos termales de gran envergadura, y cubiertos de rocas pertenecientes a Roraima.

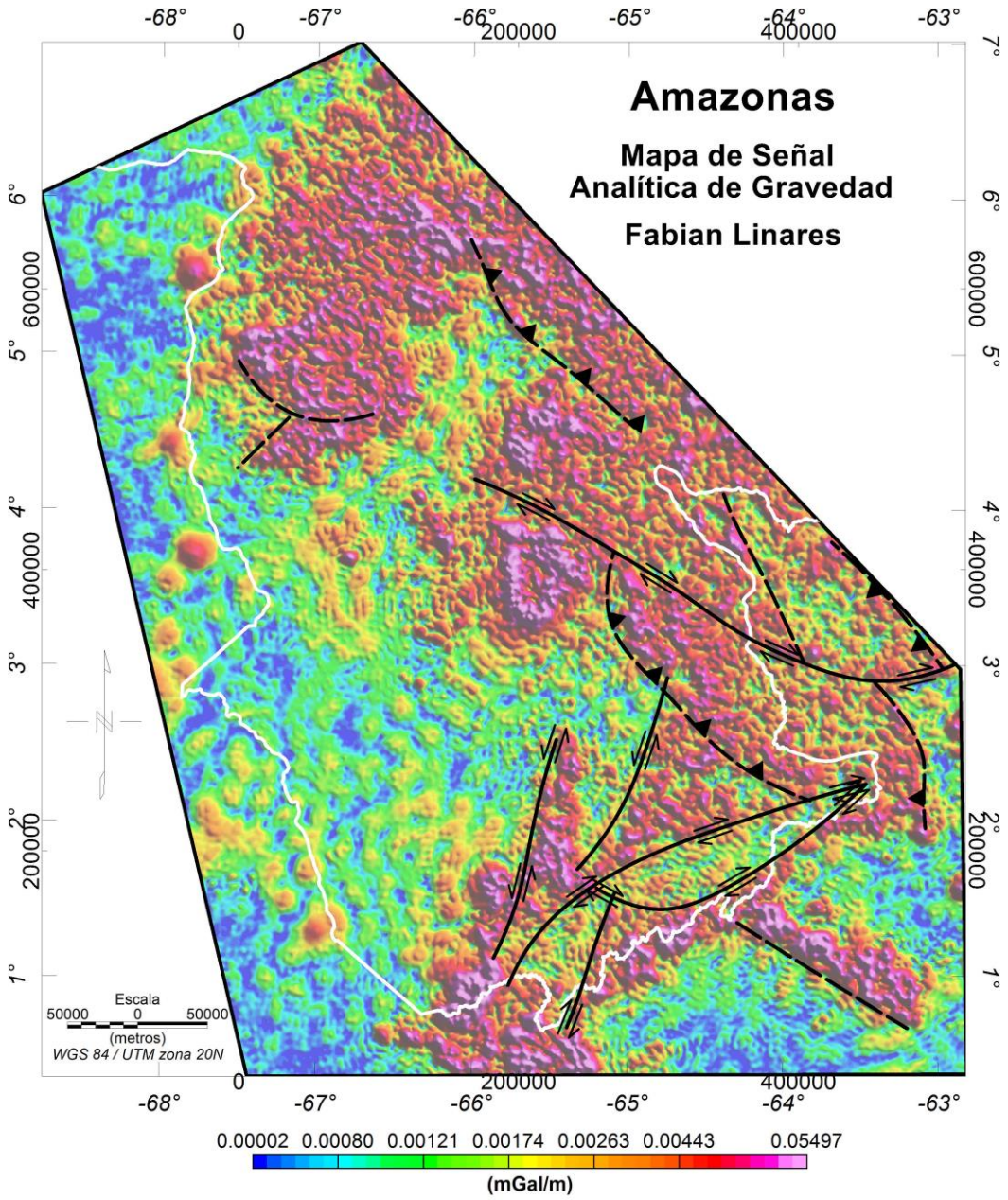


Figura 87. Mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer.

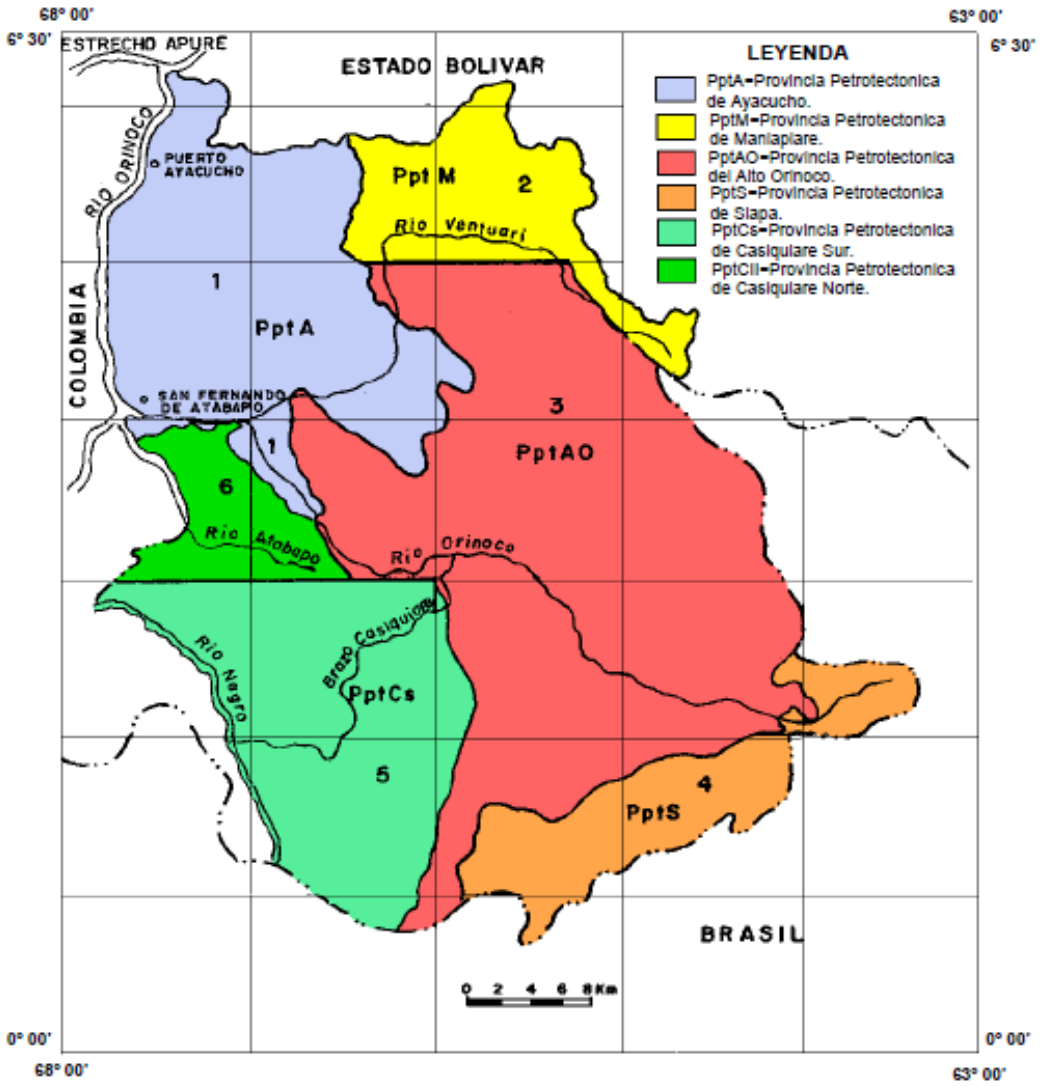


Figura 88. Mapa geológico esquemático del Estado Amazonas. Tomado de Mendoza et al. (1977).

El mapa de derivada tilt (Figura 89) muestra características similares al de señal analítica, principalmente hacia los sistemas estructurales ubicados en el sureste del Estado Amazonas. No obstante, en esta ocasión existe una franja de altos valores de contraste al sur del sistema de fallas dextrales, que podría coincidir con el patrón de intrusivos que se sugieren para la región.

Además, en el mapa es notorio el sistema de altos y depresiones ubicadas hacia el oeste del Estado Amazonas, siendo el alto más representativo el que separa a Venezuela y Colombia (áreas encerradas en polígonos color rojo). Las áreas que encierran los polígonos color púrpura se correlacionan a alteraciones termales. La más septentrional coincide en geología

con el afloramiento de Parguaza, la otra, no presenta evidencia en superficie de este tipo de evento geológico. Sin embargo, la morfología de los patrones sugiere que las mismas deben ser originadas por mecanismos similares, separadas una de la otra, por la prolongación de una de las depresiones o graben que caracterizan a la zona. El sistema dextral que marca el límite tentativo de las provincias trunca el área meridional cambiando el patrón de soluciones de la derivada hacia el norte de este.

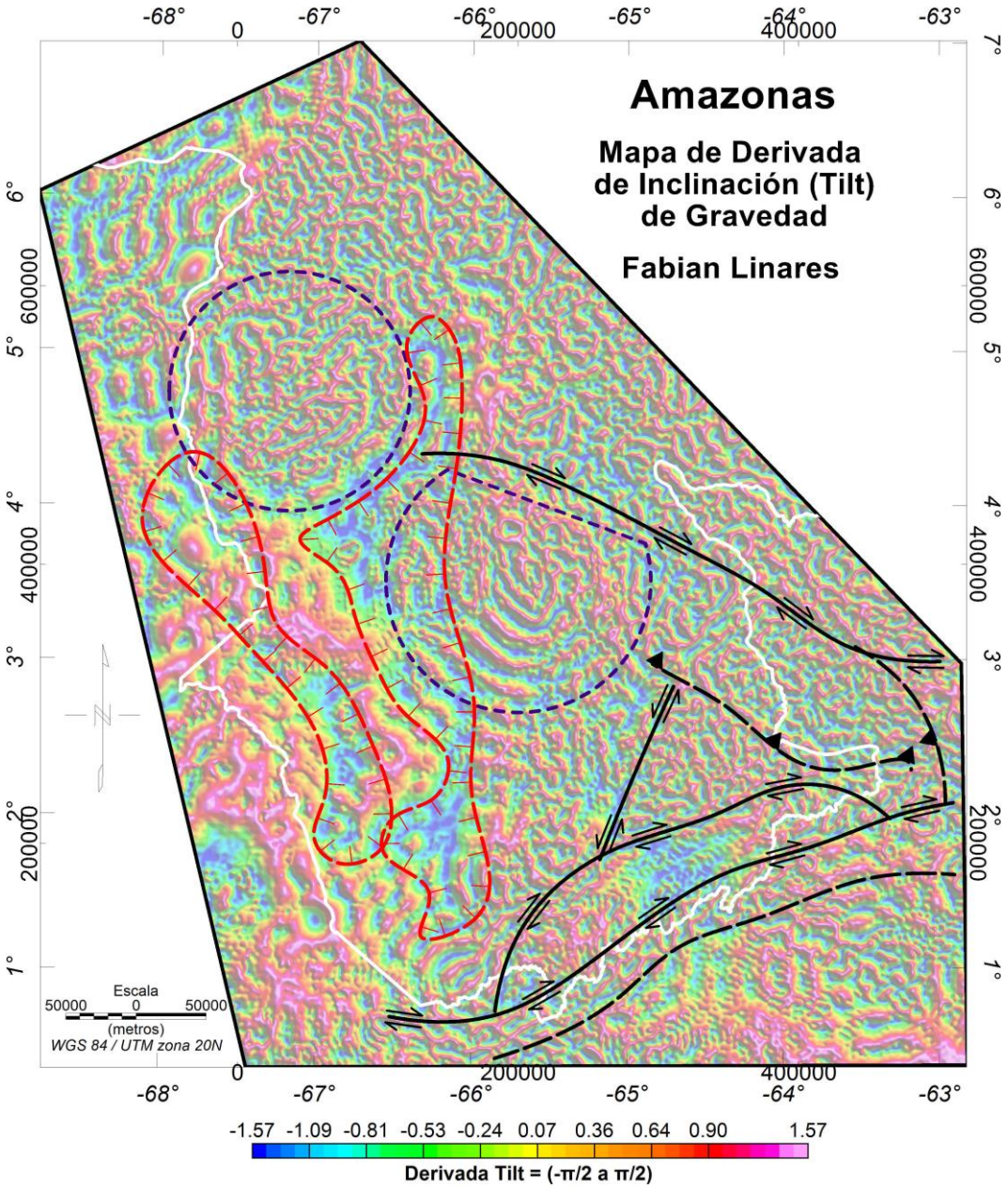


Figura 89. Mapa de derivada de inclinación (tilt) a partir de anomalías de Bouguer.

En el caso de estas herramientas aplicadas a datos magnéticos, muestran estructuras diferentes debido al carácter regional natural del dato. Es decir, los datos de este modelo magnético EMAG2 representa fuentes ubicadas a mayor profundidad que los datos de gravedad. Es por ello que la disposición de las estructuras cambia tan drásticamente, ya que sugiere los cambios de composición que ocurren a nivel de corteza intermedia a profunda. La Figura 90 se encuentra divida por zonas, a partir de los cambios de gradientes que en ella se expresan. No necesariamente estos cambios sugieren estructuras tectónicas.

La zona 1 comprende básicamente a los afloramientos predominantes de Parguaza hacia el oeste y Cuchivero hacia el este. La frontera de estos conjuntos se encuentra bien marcada primero, por una región semi-circular en el oeste, y segundo, el sistema de falla de rumbo que limita a Cuchivero de los cinturones de alto grado. La mayor alteración termal de las rocas sugiere ocurrir en los bordes de la sección que corresponde a Parguaza.

Las zonas 2, 3 y 4 sugieren ser diferentes bandeamientos a nivel cortical profundo dentro del cinturón de Río Negro. Podría ser el caso de que este cinturón este compuesto a su vez de diferentes bloques amalgamados, que sugieren estar dispuestos con orientación SO-NE. La intensidad de los gradientes disminuye de sur a norte, y probablemente esto indique que el metamorfismo fue de mayor intensidad hacia el sur. Esto ubicaría a la zona 4 como aquella sujeta a mayores esfuerzos de compresión y mayores alteraciones termales profundas durante su amalgamiento.

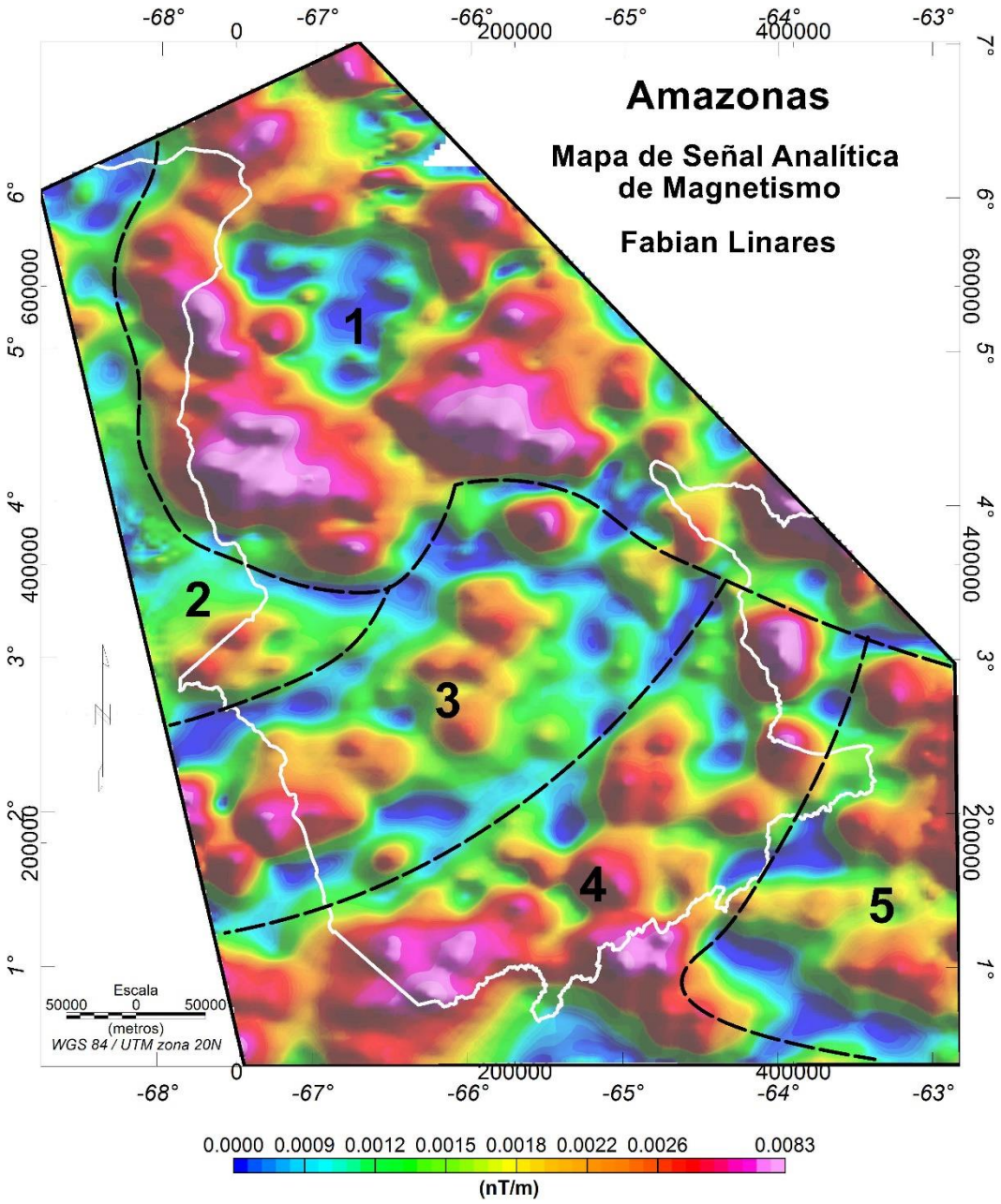


Figura 90. Mapa de señal analítica de datos magnéticos.

El mapa de la derivada de inclinación (Figura 91) muestra una fuerte influencia del campo magnético terrestre para el desdoblamiento de las anomalías, aun cuando los datos han sido reducidos al ecuador magnético.

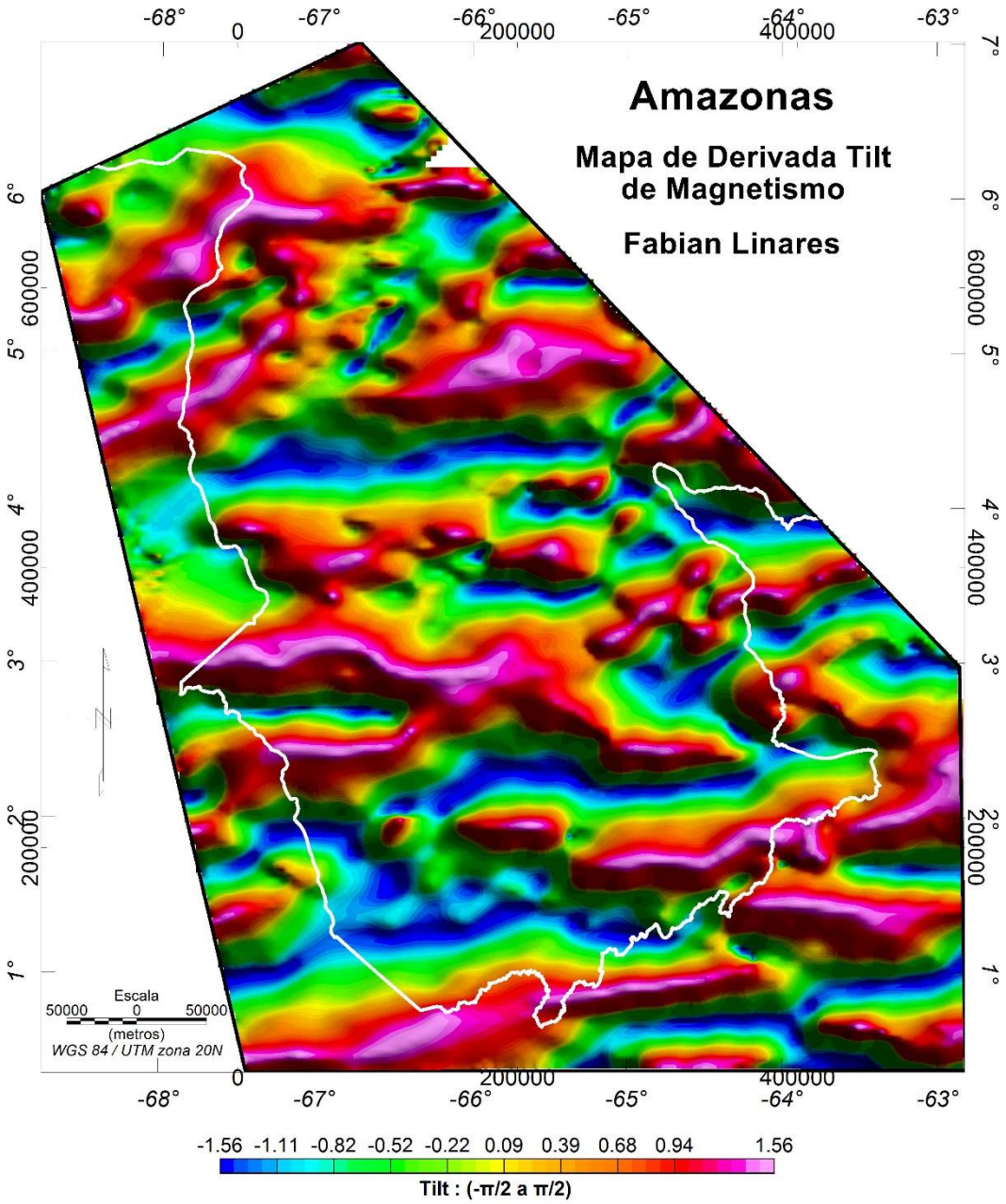


Figura 91. Mapa de derivada de inclinación (Tilt) de magnetismo.

DERIVADAS DIRECCIONALES

Los mapas de derivadas revelan sistemas estructurales consistentes con los resultados analizados anteriormente (Figura 92 y Figura 93). No obstante, el mapa de derivadas verticales muestra estos patrones y tendencias con mayor intensidad. Ambos presentan una

clara división de dominios que sugieren diferencias composicionales a nivel somero, principalmente dividiendo la región en 5 áreas diferentes:

a) Aquella compuesta principalmente de Parguaza, hacia el noroeste de las imágenes, que delimita la influencia de este sistema termal, con una tendencia de gradientes muy variados e intensos, sugiriendo gran cantidad de cambios de composición, probablemente debido a que este sistema intrusivo debió modificar la roca caja (Cuchivero), generando alteraciones que resultan en cambios de gravedad importantes e irregulares.
b) Un conjunto de gradientes concéntricos ubicados entre 3° y 4° de latitud y entre -65° y -66° en longitud, que perece ser generado por algún sistema termal antiguo bajo la capa más superficial de la corteza. Este sistema se encuentra truncado por los sistemas tectónicos que se presentan en las imágenes. Su apariencia coincide, de cierta manera, con los estilos de anomalías que se observan en Parguaza, y por este motivo, se piensa que consiste en un sistema intrusivo.
c) El área noreste de las imágenes es de gran complicación tectónica, ya que se observa la interacción de Cuchivero con una sección de basamento exhumado y bloques de los cinturones de alto grado (como Kanuku) sobre-corridos. Toda esta interacción es predominantemente dominada por sistemas de fallas dextrales y de componente inversa. Esto concuerda con los análisis mencionados durante el capítulo de Cuchivero, relativo a los cambios de regímenes tectónicos y a la evolución de los mismos. A partir de estas herramientas no es posible determinar, si al igual como ocurre en Cuchivero, las rocas que componen la corteza inferior son afines a CRV.

   A su vez, los sistemas tectónicos representados en esta región particular confirman la tendencia de cierre post-subducción con rotación parcial del eje y de los cinturones por reacomodo, en ciertos lugares y hasta cierto punto, plástico. Todo ello aunado a una migración rápida de los ascensos termales y del margen de subducción. El corrimiento de Cuchivero sugiere que cuando ocurren las alteraciones termales que permitieron el ascenso de Parguaza (y de lo que sea que exista debajo en la zona “b”), hacia Cuchivero y Caicara la región se encontraba en una etapa de cierre de los sistemas ante-arco y tras-arco formados en la corteza de

composición predominante CRV y cuyas orientaciones estaban marcadas por la orientación del margen de subducción NNO-SSE, casi perpendicular a la orientación con la que había ocurrido la apertura del mar de Pastora. Este margen de subducción al migrar, y por reacomodo, gira en sentido anti-horario adquiriendo una orientación más NO-SE. Este margen tuvo que estar activo por menor tiempo que los anteriores, ya que las dimensiones de los intrusivos de Supamo y de Cuchivero no se comparan en volumen con las de Parguaza. Es probable que el patrón de esfuerzos predominante haya sido el dextral, y no compresivo. Además, la cantidad abrumadora de material volcánico recién emergido pudo facilitar una colisión más plástica hacia el centro de Amazonas. No obstante, hacia el sureste de Amazonas, el régimen compresivo si fue de relativa alta intensidad, ya que permitió la exhumación de bloques y pedazos de cinturones antiguos corridos.

d) Esta zona comprende toda la región central-occidental del Edo. Amazonas, y está marcada por gradientes de mediana intensidad. Es evidente la presencia e influencia de los sistemas depresivos (estructuralmente hablando) intercalados. Además, es de acotar, el aparente desplazamiento de los bloques en la ubicación de la triple sutura hacia Atabapo. Allí los gradientes son de relativa mayor intensidad, sobretodo en el mapa de derivada vertical, y se observa que los grábenes están quebrados en sentido E-O. A nivel cortical somero, no parece que esta locación represente un punto conjunción de las diferentes provincias a nivel regional, pero es indudable que allí existe un sistema tectónico que reacomoda diferentes bloques, probablemente de composición a fin a Río Negro. El límite, de acuerdo a estos mapas y a un nivel de profundidad somero, ocurre más cercano a la región de Parguaza hacia el norte.

   La apertura que se observa entre los focos de calor observados (entre zonas “a” y “b”) puede ser producto de la cinemática de la falla dextral que domina toda la región. Esta falla además funge como un medio liberador de los esfuerzos al momento del choque de las provincias anteriores ya relativamente amalgamadas y los cinturones de alto grado que mucho antes se había separado aparentemente de Imataca.

e) Esta corresponde con la sección tectónicamente más complicada, ya que contiene un conjunto de fallas de rumbo que resultan en diferentes sistemas en la zona. Esta se

ubica hacia el sur del Edo. Amazonas, y en principio, estas fallas generan una depresión, similar a un pull-apart, en su sección central con disposición SO-NE. De ellas, se derivan fallas de escape tanto en el sur como en el norte, lo cual ocasiona esfuerzos compresivos en las terminaciones de estas derivaciones. Las mismas poseen una cinemática aparente sinestral y desplazan diferentes porciones de terreno plutónico-metamórfico de San Carlos. Los gradientes que componen esta zona difieren drásticamente con aquellos donde aflora la misma litología, más hacia el noroeste. Esto sugiere un alto control tectónico en las anomalías correspondientes a fuentes superficiales, donde incluso pequeños cuerpos intrusivos silícicos no presentan una influencia mayor que lo tectónico. Más aún, estas fallas parecen controlar de cierto modo la disposición que presentan los sedimentos de Roraima en esta zona.

Esta influencia, quizás, es debido a que el tectonismo genera irregularidades en las interfaces de contraste a nivel intra-cortical de gran influencia en los registros de gravedad, aunado a que los contrastes de litología en planta no representan mayores diferencias de densidad.

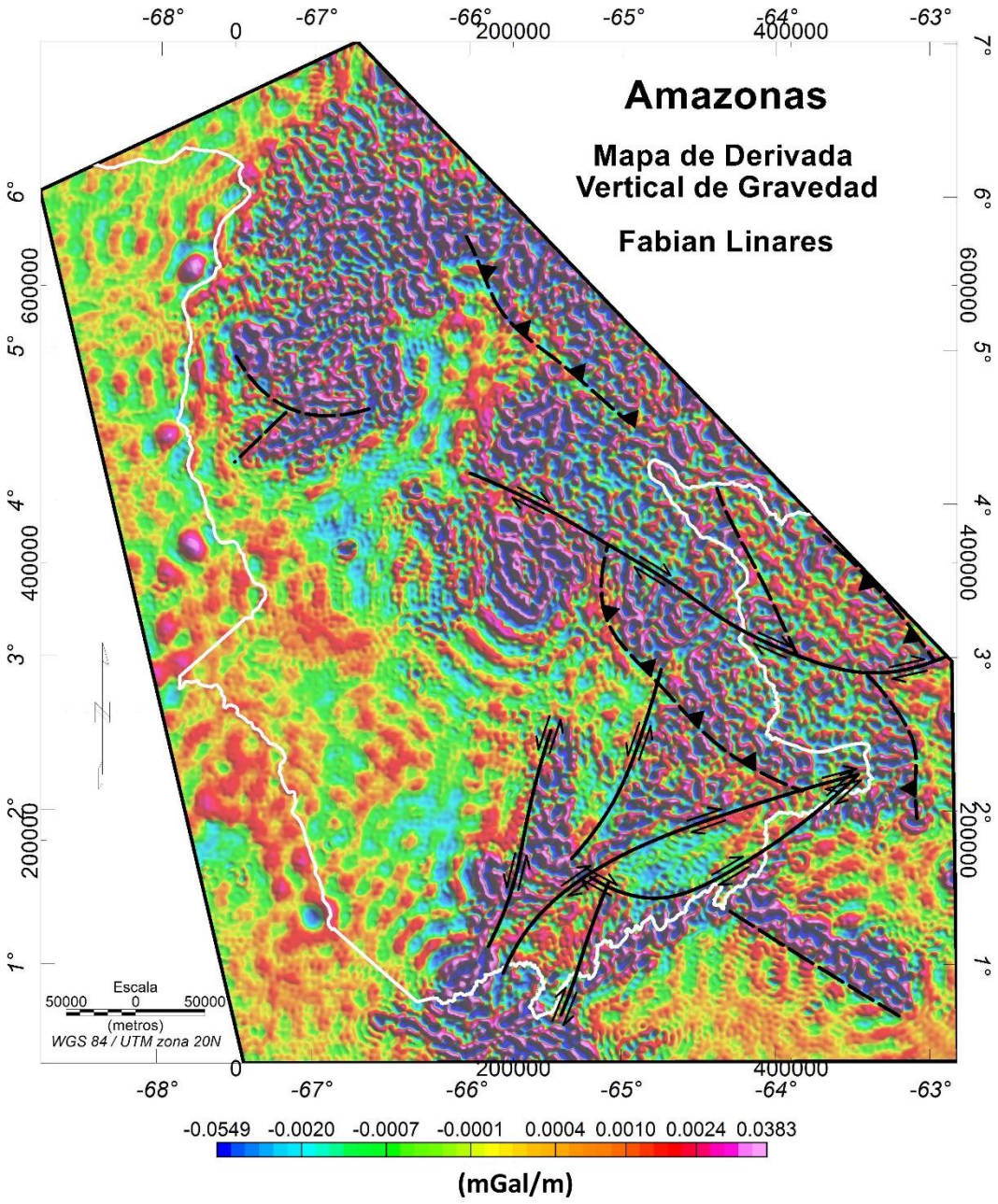


Figura 92. Mapa de derivada vertical de gravedad.

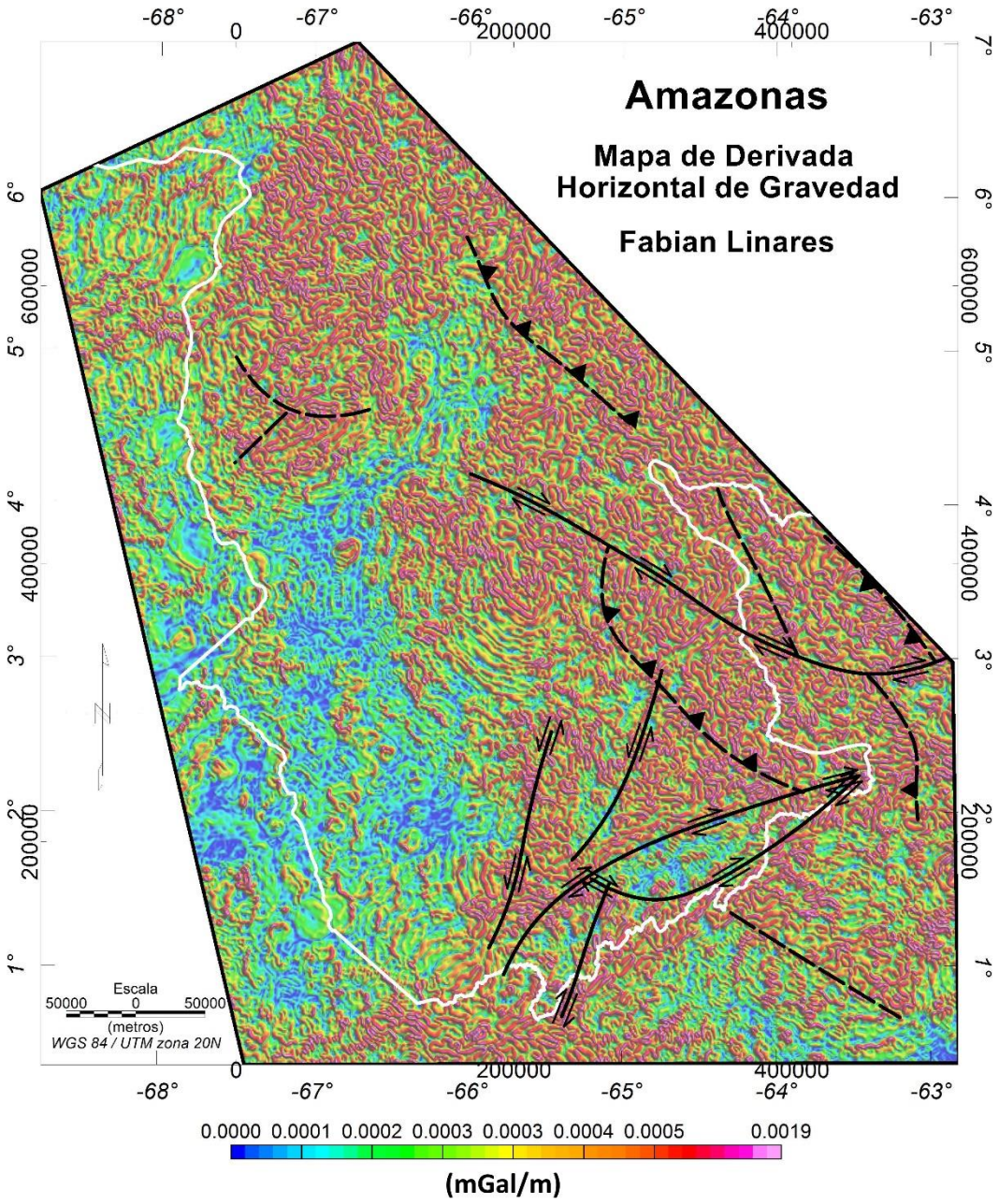


Figura 93. Mapa de derivada horizontal de gravedad.

DECONVOLUCIÓN DE EULER

En la siguiente Figura 94, las soluciones de índices reflejan los principales lineamientos estructurales y cambios de composición interpretados en las técnicas anteriores. Hacia el norte, numerosas soluciones de cambio de composición son observadas cuando las rocas someras tienden a ser sedimentarias. El límite de este cambio de dominio se representa con

soluciones que acompañan de cierto modo a la frontera colombo-venezolana. En Parguaza, y de similar manera a lo observado en Cuchivero, las soluciones de índice 2 (SI = 2) se encuentran mayoritariamente donde probablemente existen cambios profundos entre rocas intrusivas. Altos estructurales, fallas y sistemas de transcurrencia se encuentran demarcados por soluciones 0 y 1.

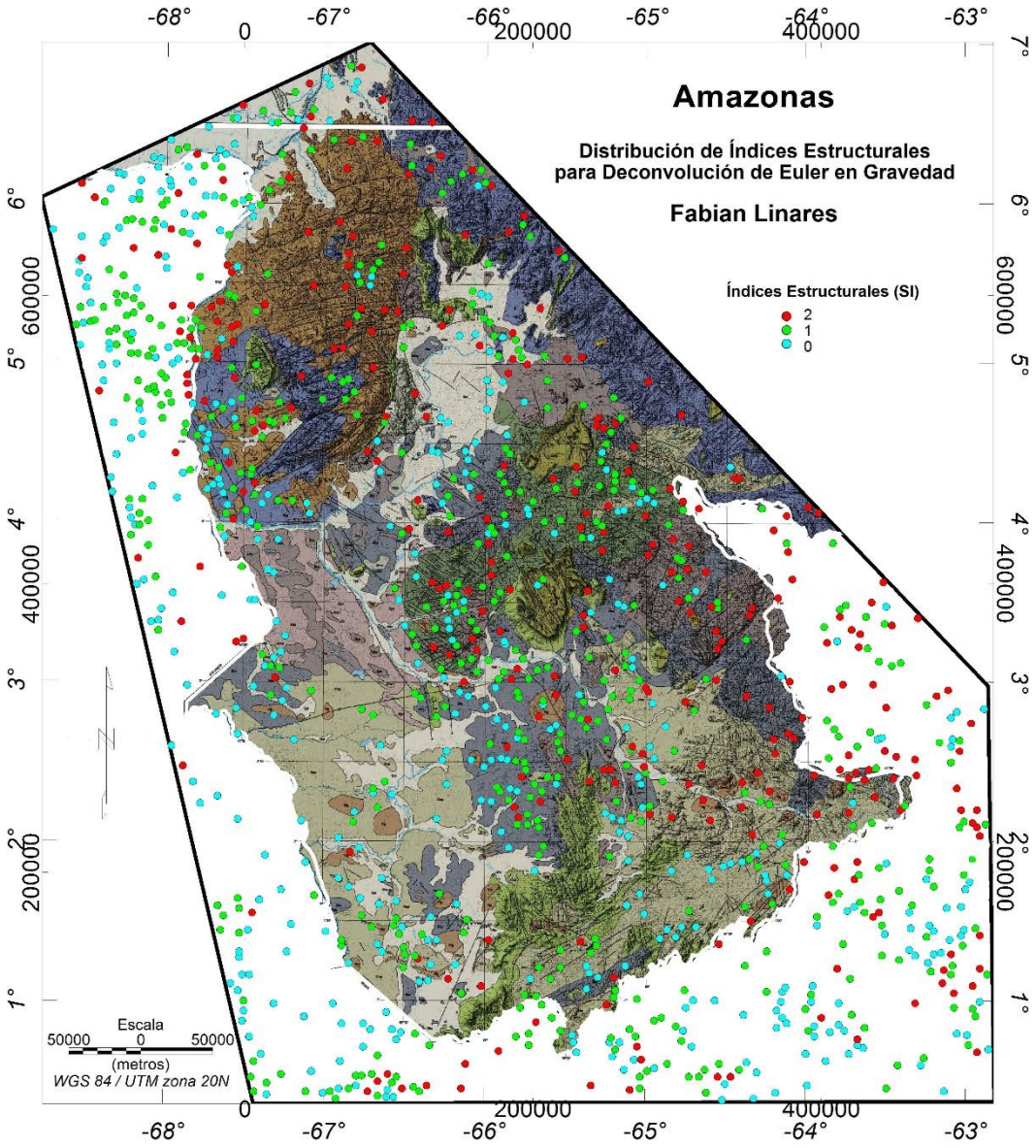


Figura 94. Mapa de distribución de índices estructurales para la deconvolución de Euler en Amazonas para datos de gravedad.

En la región central del mapa, numerosas soluciones delimitan el sistema de grábenes y altos estructurales, con alineaciones que varían entre 330-335° (azimut) aproximadamente,

pero que en general, son cortados por el sistema estructural dextral interpretado N60°W también marcado por soluciones de índice (comparar con Figura 93 por ejemplo).

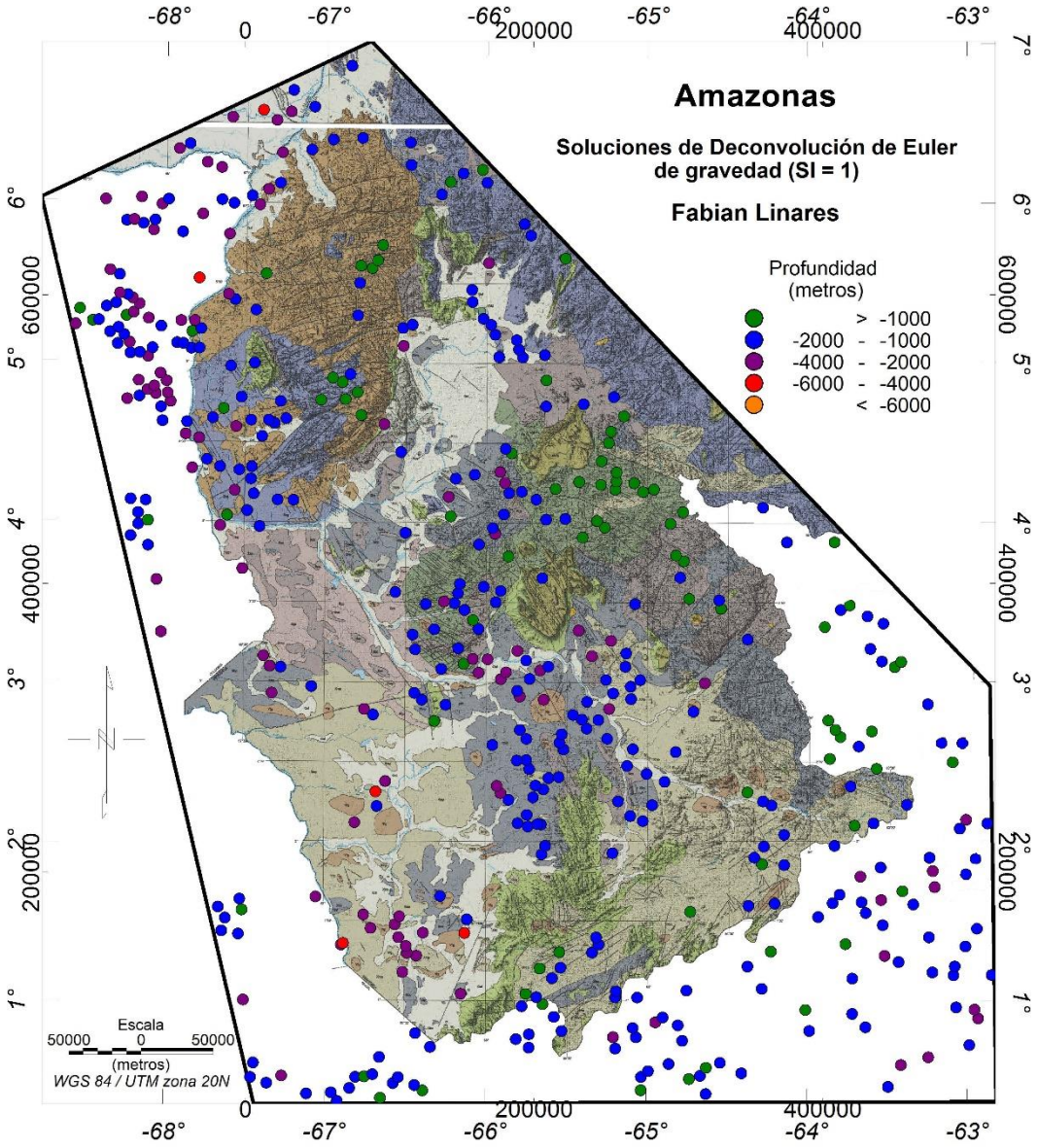


Figura 95.Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Amazonas, SI=1.

El mapa de profundidad de soluciones de índice 2 (SI = 2) revela que algunos de los contrastes entre Parguaza y Cuchivero en el centro de la provincia son relativamente someros (≤ 1.000 m), mientras que los contrastes hacia los bordes de esta (Parguaza) tienden a profundizar hasta los 2.000 m. Algunas soluciones entre 4.000 m y 6.000 m se

encuentran ya en territorio colombiano, indicando que hacia este país rocas similares de alta densidad se encuentran más profundas.

Al comparar estas soluciones con el mapa de anomalías regionales de Bouguer para la misma ventana, es de destacar que la mayoría de las soluciones entre 4000 m y 1000 m de profundidad concuerdan con las tendencias estructurales interpretadas sobre el mismo. De hecho, en las zonas de depresión, o también, deficitarias de densidad, la cantidad de soluciones aumenta, indicando que la variabilidad vertical es mayor en estas áreas. Esto induce a su vez, que durante el amalgamiento de los cinturones (cuya disposición cortical profunda se observa mejor en el mapa regional magnético) existían zonas levantadas y otras deprimidas, y que ello constituye la composición cortical superior. En este sentido, la provincia que revela menor variabilidad es Río Negro, y la de mayor variabilidad corresponde al cinturón de rocas de alto grado, quizás debido a su posición entre dos bloques móviles que se comprimen.

Sin embargo, se presenta una aparente estructura cortical orientada aproximadamente paralela a la dirección del rio Orinoco, cuya tendencia aparece en todos los índices de solución. La misma infiere como si el estado Amazonas estuviese, en rasgos muy generales, divido en dos partes separadas por un sistema que corre N50°W, y que quizás es la proyección somera del margen entre el cinturón de alto grado y Río Negro. Es decir, un antiguo margen de subducción y luego colisión donde aparentemente Río Negro fue la sección que subdujo parcialmente.

Esto concuerda con la tendencia de Río Negro a presentar en el mapa regional anomalías de Bouguer altas, como si se tratase de rocas de naturaleza oceánica enterradas bajo otra geología de afinidad más continental. Esto infiere, a su vez, que la interfase de Mohorovicic se encuentra a menor profundidad en esta provincia, lo que contribuye a que las anomalías positivas se mantengan, ya que al ser de naturaleza oceánica su espesor es menor.

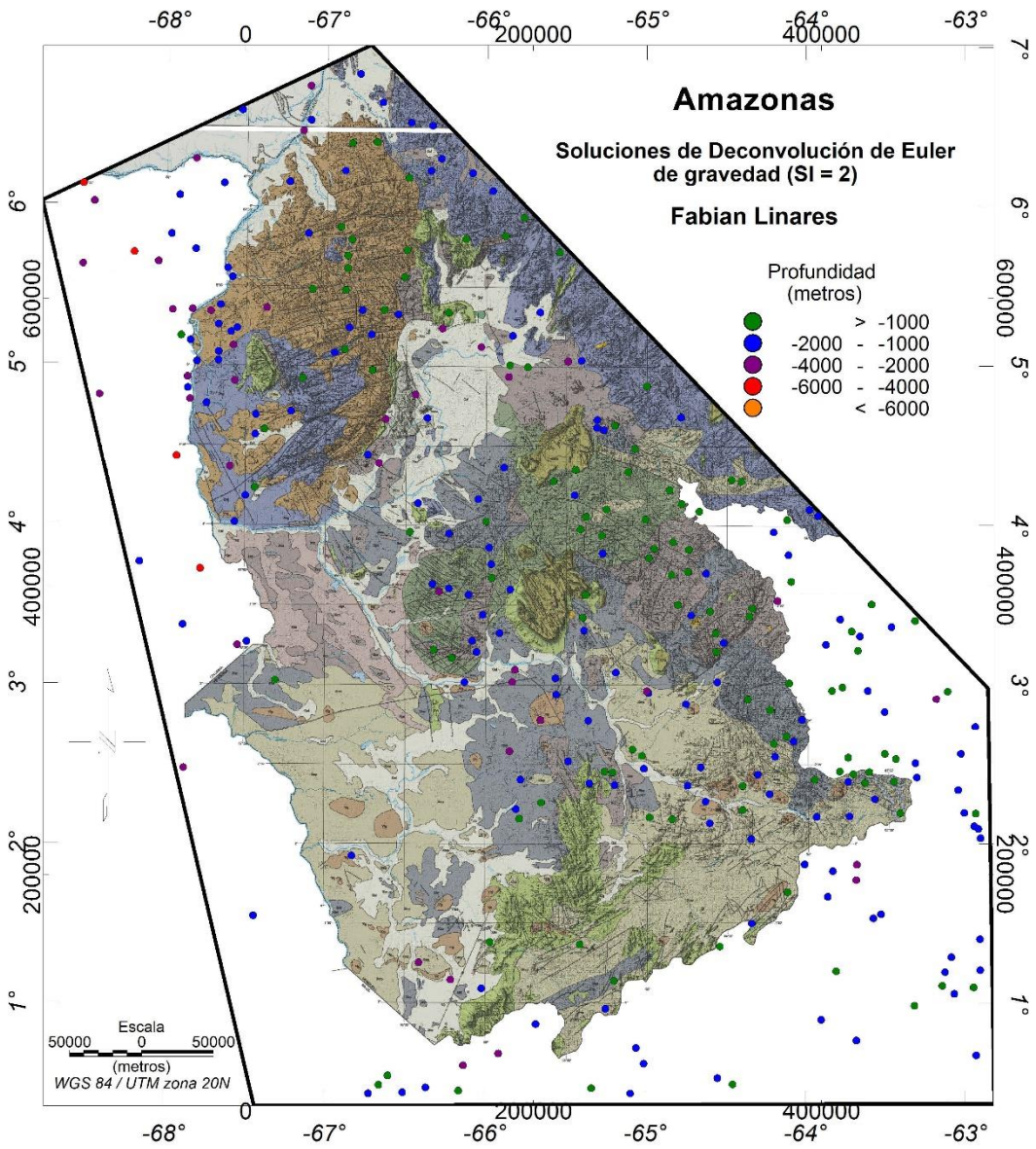


Figura 96. Soluciones de deconvolución de Euler de gravedad en Amazonas, SI=2.

Los resultados e interpretación de los perfiles generados mediante la deconvolución de Werner y Señal Analítica se encuentran en los Anexos de este documento. Los mismos constituyen información relevante que amplían y complementan la interpretación de la geología y estructura de esta provincia a partir de los datos de gravedad. Los mismos constituyen fundamentos que nutrirán las conclusiones.

CAPÍTULO VII
RORAIMA

El Grupo Roraima se extiende desde Tafelberg (Surinam) hasta Neblina en el Edo. Amazonas, cubriendo actualmente unos 250.000 km^2, aunque originalmente pudo alcanzar el orden de los 1.200.000 km^2. En general, esta provincia carece de marcado tectonismo (sinclinales suaves muy abiertos y de muy bajo buzamiento) con algún fallamiento, incluso fallas de arrastre como en el Tepuy de Parú, frente a Kakuri, Alto Ventuari en el Edo. Amazonas, relacionados a la Orogenia Nickeriana y de levantamientos epirogénicos. Briceño *et al.* (1989) mencionan que los tepuis son el producto de inversión topográfica de remanentes de sinclinales de ejes con inclinación en ambas direcciones y que las áreas bajas alrededor de los tepuis corresponden a erosionados sinclinales.

Las rocas de esta provincia no muestran metamorfismo regional. Solo se registra metamorfismo de contacto (andalucita) de rocas de Roraima con granitos intrusivos, post 1450 Ma, y de rocas máficas de la Asociación Avanavero; aunque Urbani (1977) postuló un metamorfismo de carga (pirofilita) en algunas localidades del Alto Caura posiblemente donde el Grupo Roraima alcanzó unos 3000 m adicionales de sedimentos actualmente erosionados.

Allí Ghosh (1977, 1985) dividió al Grupo Roraima en tres miembros:

a) Miembro Superior, con unos 500 a 700 m de espesor, formado por ortocuarcitas ± carbonatos, areniscas feldespáticas y areniscas muy hematíticas en el tope al menos del tepuy Parú. Esta sección se corresponde a la que levantó Ghosh (1977) desde el tope a la base del tepuy Parú y al estudiar otros tepuis como los del Cuao, Autana, y otros, y observó que la sección del Parú tenía carácter local y que no se extendía a otros tepuis, es decir que, Roraima se depositó en un largo período en cuencas fluivio-deltáicas a marinas someras, separadas entre sí no solo en tiempo sino también en el espacio, como lo proponen Mendoza *et al.* (1977, MEM informe inédito).

b) Miembro Medio, de 100 a 200 m de espesor con al menos dos capas de lutitas negras y grises separadas entre sí por ortocuarcitas.
c) Miembro Inferior, de 300 a 500 m de espesor compuesto de areniscas gradadas con estratificación cruzada y rizaduras, wacas y delgados y discontinuos conglomerados.

Sobre las rocas volcánicas del Grupo Cuchivero yacen discordantes rocas volcanoclásticas félsicas y cuarzo-arenitas que definen a la Formación Ichún de alrededor de 2.500 m de espesor. Esta formación junto al Grupo Roraima es lo que componen en conjunto al Supergrupo Roraima. Las rocas de Roraima son de ambientes oxidantes y las rocas pre-Roraima son de ambientes más reductores, las cuales infrayacen a las anteriores.

Las rocas de Roraima fueron depositadas en ambientes mayoritariamente fluviales, deltaicos, a localmente marino costeros, lacustrinos, en canales de ríos de baja sinuosidad y llanuras aluviales, distributarios deltáicos encima de lagos interdeltáicos, lagunas costeras a bahías interdeltáicas, playas sin barras y llanuras intramareas (Sidder & Mendoza, 1995).

La edad de las rocas que componen esta provincia va de 1,8 Ga a 1,5 Ga según Mendoza *et al.* (2019). Las diabasas y rocas asociadas, cuarzo gabroides y norítico-gabroides hasta cuarzo dioriticas y granófiros, forma como una especie de enjambre de diques y sills intrusivos en Roraima y ocurren emplazados a lo largo de las zonas de debilidad tectónica tales como los contactos inferior (Roraima/Supamo) e intraformacionales (Uairén/Kukenan; Kukenan/Uaimapué; Uaimapué/Mataui) con edades próximas a las edades de las tobas félsicas de unos 1.670 ± 14 Ma por Rb/Sr en roca total a 1.640 ± 58 Ma en roca total en Surinam.

Estas rocas máficas no metamorfizadas denominadas como Asociación Avanavero se extienden intrusivas en las partes basal a media de Roraima, desde el río Paragua a la Gran Sabana, Guyana, Surinam, posiblemente Guayana Francesa y en el Escudo Reguibat, con 1.600 Ma, de África Occidental. Así como tales diabasas no intrusionaron al granito rapakivi de El Parguaza, tampoco alcanzaron a intrusionar a las rocas de Roraima en Amazonas, porque son posteriores a tales intrusiones registradas y por lo tanto aparecen sólo en la parte Oriental del Escudo.

Químicamente estas diabasas y rocas asociadas son toleitas continentales, pero son más pobres en Fe total, $Ti0_2$, zirconio, vanadio, volátiles (H_20, $C0_2$, FH, ClH) que diabasas toleíticas de edad Mesozoico. Esto puede deberse a que las diabasas intrusivas en Roraima están menos diferenciadas y/o se derivaron de la parte más superior del manto en áreas continentales; mientras que las diabasas de edad Mesozoico son más fraccionadas, presentan más altos contenidos de Fe, $Ti0_2$, etc., y se derivaron de la parte superior del manto y estos magmas están relacionados a puntos de calor ("*hot spots*") del fondo oceánico del Atlántico, con edades cercanos a los 170 Ma y se emplazaron hasta en áreas continentales de Imataca, CRV de Pastora, Granitos de Cuchivero, etc., con tendencias ENE pudiendo estar asociados con la falla de transformación de Guri, y a otras fallas, paralelas y subparalelas a ella (Mendoza, 2005).

En el Escudo de Guayana se tienen indicios de emplazamientos de varias plumas de calor, de más antiguas a más recientes, separadas también en el espacio, se resumen por los siguientes eventos (Mendoza *et al*., 2019):

a) **Dique anular máfico-ultramáfico de Nuria,** intrusivo en rocas del Complejo de Supamo (2,3-2,1. Ga).
b) **Complejos máficos-ultramáfico de Verdún, Mochila, etc.,** intrusivos en CRV tipo Pastora (2,2-2,0 Ga).
c) **Gran Dique de El Cácaro, máfico-ultramáfico,** intrusivo con trend NE en rocas volcánicas tipo Caicara (1,9-1,8 Ga).
d) **Enjambre de diques gabroides a diabásico-tonalíticos** intrusivos en rocas sedimentarias del Supergrupo Roraima (1,7-1,8 Ga).
e) Emplazamiento de Granitos Rapakivis de gran extensión, y depósitos tipo Olympic Dam, en zonas de disrupción continental, intrusivos en rocas de la Asociación Cuchivero, durante 1,6 a 1,3 Ga, asociados a rocas alcalinas y complejos alcalinos como el de La Churuata.
f) Kimberlitas eclogíticas diamantíferas de Guaniamo (de 710 Ma de edad por Rb/Sr en flogopitas), y posiblemente Carbonatitas de Cerro Impacto, como cuerpos intrusivos alcalinos, coincidentes con el inicio de la disrupción del Supercontinente Rodinia, hace 750 Ma.

Para la visualización de la geología de esta provincia se realizó un mosaico entre la sección que corresponde a Roraima del lado venezolano y la sección restante del polígono que corresponde al lado guyanés. Hacia el lado guyanés se observa la continuidad de algunos de los cuerpos y provincias estudiados en los capítulos anteriores, donde los intrusivos equivalentes a Supamo y Cuchivero han sido marcados con colores rosa, lo que comprende a las volcánicas de Caicara de colores amarillos, lo que corresponde a CRV en colores verdes, el Supergrupo Roraima por colores marrones, y la asociación Avanavero en azul claro. A partir de la interpretación conjunta de estos mapas se realizará la caracterización de la provincia. Del lado brasileño, las litologías pueden ser inferidas a partir de la extrapolación de las provincias, junto a la información proporcionada por el mapa de Kroonenberg *et al.* (20016) (Figura 195). En este último se puede observar que la frontera sur del polígono marcado se encuentra muy cerca del cinturón de alto grado del grupo Kanukú.

El espectro de potencia promediado radialmente de los datos de gravedad sugiere que Mohorovicic se encuentra alrededor de los 40 km de profundidad en promedio, siguiendo con Conrad a unos 20 km y un contraste somero alrededor de los 4 km, que sugiere ser entre posiblemente rocas ígneas y CRV. Por otro lado, el espectro de los datos magnéticos revela que la isoterma de Curie podría estar ubicada alrededor de los 44 km de profundidad, un poco más abajo que Mohorovicic, que la interfase que divide las cortezas también presenta diferenciación magnética, ya que la profundidad calculada a partir de gravedad y magnetismo se asemejan bastante, y que además, entre 10 km y 11 km existe un contraste de rocas bastante significativo, probablemente entre rocas muy similares en densidad pero que difieren en propiedades magnéticas, como podrían ser diferencias internas en los CRV, y que posterior a ello, en lo que a magnetismo se refiere, el próximo contraste sería entre rocas ígneas como Cuchivero y Caicara y el espesor sedimentario que compone al Supergrupo Roraima, ya que este espesor es coincidente con el espesor que reporta la geología para la Formación Ichún, la cual es la formación que sobreyace a las rocas ígneas.

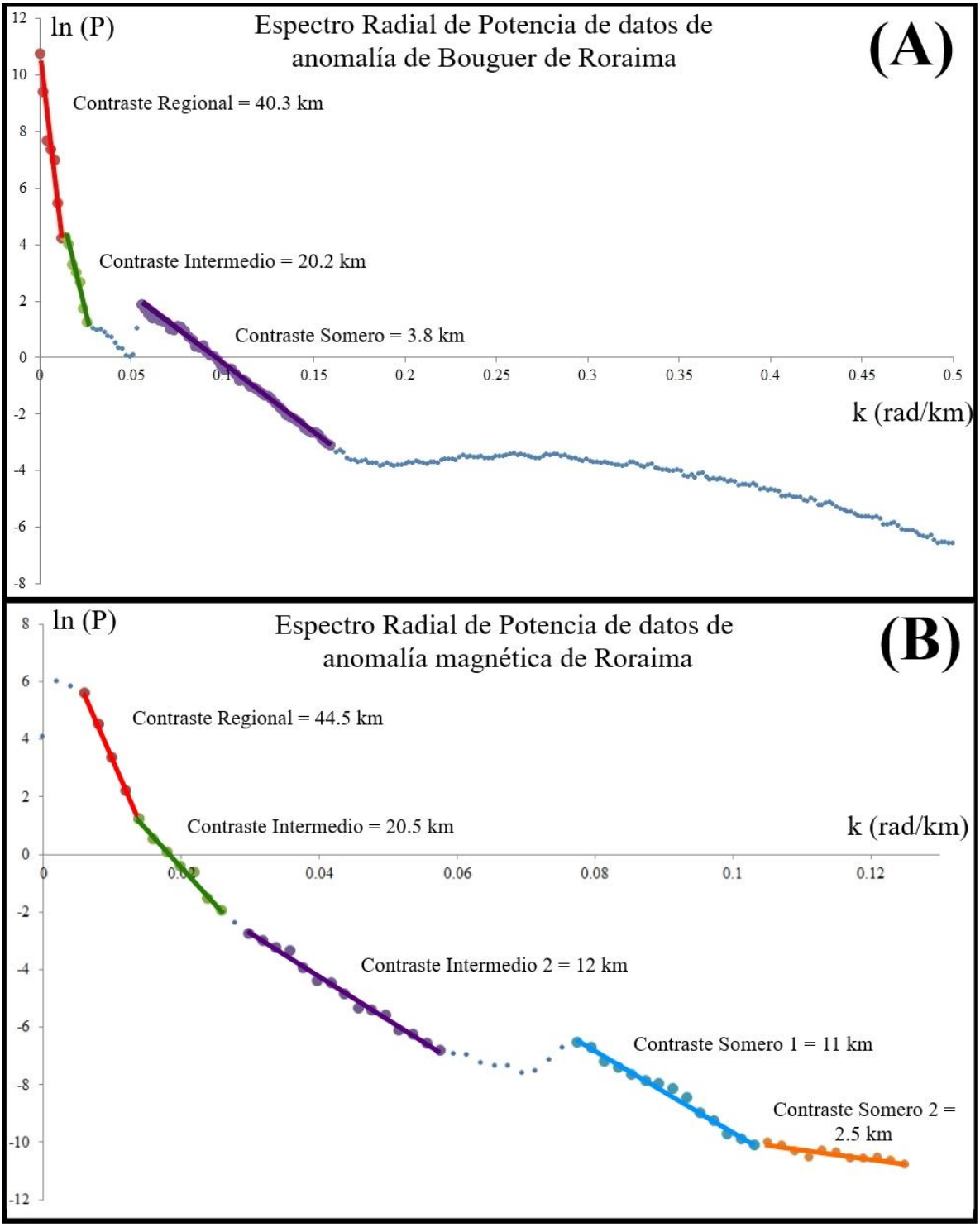


Figura 97. Espectros radiales de potencia de Roraima. a) Datos de gravedad; b) Datos de magnetismo.

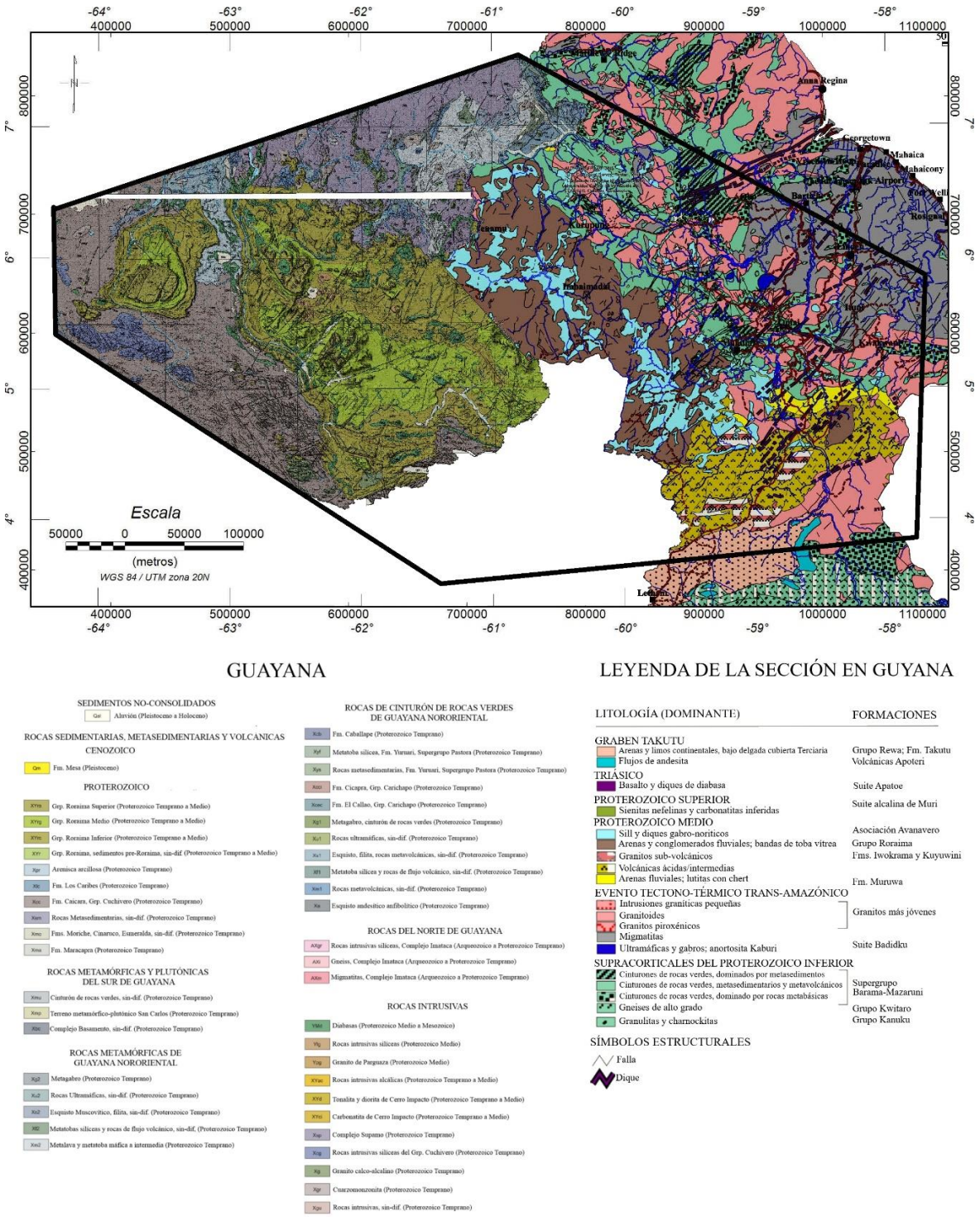


Figura 98. Mosaico de mapas geológicos de la provincia de Roraima. En polígono color negro: delimitación de la provincia en estudio para este capítulo.

Debido al carácter regional de los datos magnéticos utilizados para esta investigación, se tomará al mapa de anomalías magnéticas como un mapa que refleja principalmente

estructuras profundas regionales. Para el caso de la gravedad, se tomarán aquellos números de onda que incluyen la respuesta de la interfase de Conrad, hasta 0,015 rad/km (longitudes de onda mayores a 66 km), y el conjunto entre este mismo número de onda y 0,2 rad/km (longitudes de onda hasta 5 km) para caracterizar anomalías residuales, cuyo límite interválico es a su vez el valor de corte donde se evita que los datos presenten distorsiones en las anomalías más pequeñas (Figura 97).

En el mapa de anomalías de Bouguer (Figura 99) las magnitudes tienen un rango de aproximadamente 200 mGal, distribuidos principalmente en magnitudes negativas, indicando el dominio continental de la sección. Los mínimos se ubican en una especie de arco compuesto por tres anomalías separadas por la aparente prolongación de un rift, y que podrían ser una combinación del efecto de la topografía, rocas sedimentarias de gran espesor y algunos intrusivos presentes en estos relieves. De oeste a este, y de norte a sur, el primero se ubica por 5,8°N/63,5°O aproximadamente y alcanza -110 mGal, el segundo en 6°N/62.5°O que alcanza alrededor de los -160 mGal y, por último, un tercero ubicado en 5,5°N/62°O que alcanza unos -150 mGal. El máximo en el mapa (alrededor de los 30 mGal) se ubica hacia el este del bloque, a medida que el área se acerca a Surinam y a corteza probablemente menos espesa con inicio de la influencia de corteza transicional a oceánica, y donde la geología de mapas más regionales (como el Kroonenberg *et al.*, 2016) refleja solo cubierta sedimentaria en afloramiento.

En términos de longitudes de onda, todo el bloque entre 64°O y 59°O se caracteriza por longitudes de onda corta inmersas en patrones regionales que se disponen de manera similar a la orientación de Cuchivero y CRV, es decir, no cabe duda que debajo de las rocas sedimentarias debe existir una frontera que cambia el dominio de corteza superficial entre Cuchivero y CRV. Como se ha estudiado previamente, Cuchivero descansa generalmente sobre los CRV, pero a medida que el espesor del mismo incrementa, los CRV se encuentran más profundos. Al observar que estos se encuentran en superficie hacia el noreste, en combinación con Supamo, debe existir una especie de frontera que marque esta inflexión de dominios. Hacia el este, desde el meridiano -59° hacia mayores longitudes, las longitudes de onda aumentan, mostrando básicamente la somerización de interfases más densas y a su vez la disminución de su espesor.

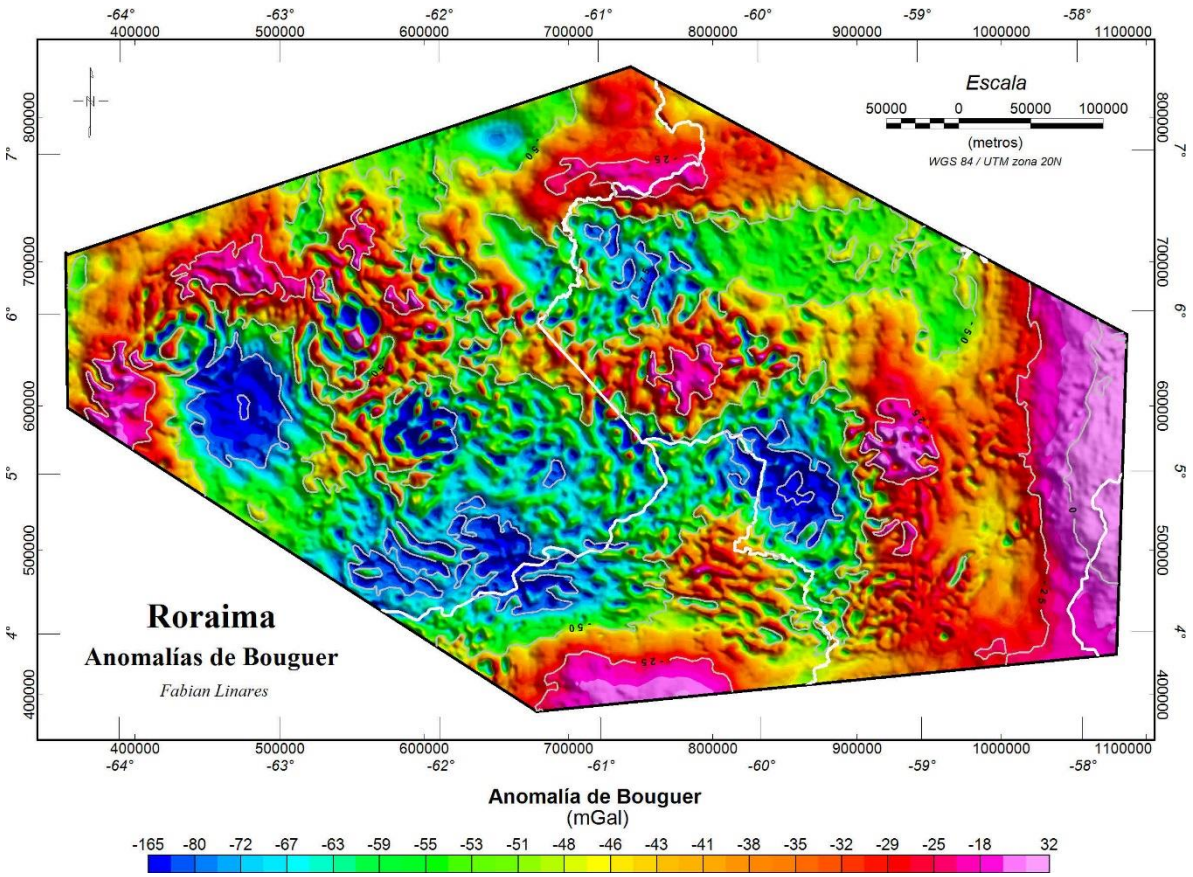


Figura 99. Mapa de anomalías de Bouguer de Roraima. Líneas de contorno cada 25 mGal.

El mapa de anomalías magnéticas presenta limitantes referentes a la disponibilidad de datos ubicados dentro de la provincia. A partir de 59°O no se cuentan con datos magnéticos debidamente procesados y validados, ya que corresponden a territorio guyanés, y del lado venezolano, se encuentra un gran vacío entre 64°O y 61°O aproximadamente, y entre 6°N y 4,5°N, sección para la cual la interpretación magnética será limitada.

Hacia el norte y el extremo sur de la zona, las magnitudes magnéticas tienden a ser positivas, mientras que hacia el centro tienden a ser negativas. El máximo se alcanza hacia el noroeste, con anomalías cercanas a los 500 nT y el mínimo, justo al sur de esta última, con una magnitud de -350 nT. Este gradiente consiste en una de las primeras evidencias de la frontera mencionada, que en el mapa reducido al ecuador revela una especie de fallamiento que corre E-O por el paralelo 6°. Esto concuerda con la tendencia regional que presentan las anomalías de Bouguer de entre -30 mGal a 0 mGal que se presentan en la zona de transición.

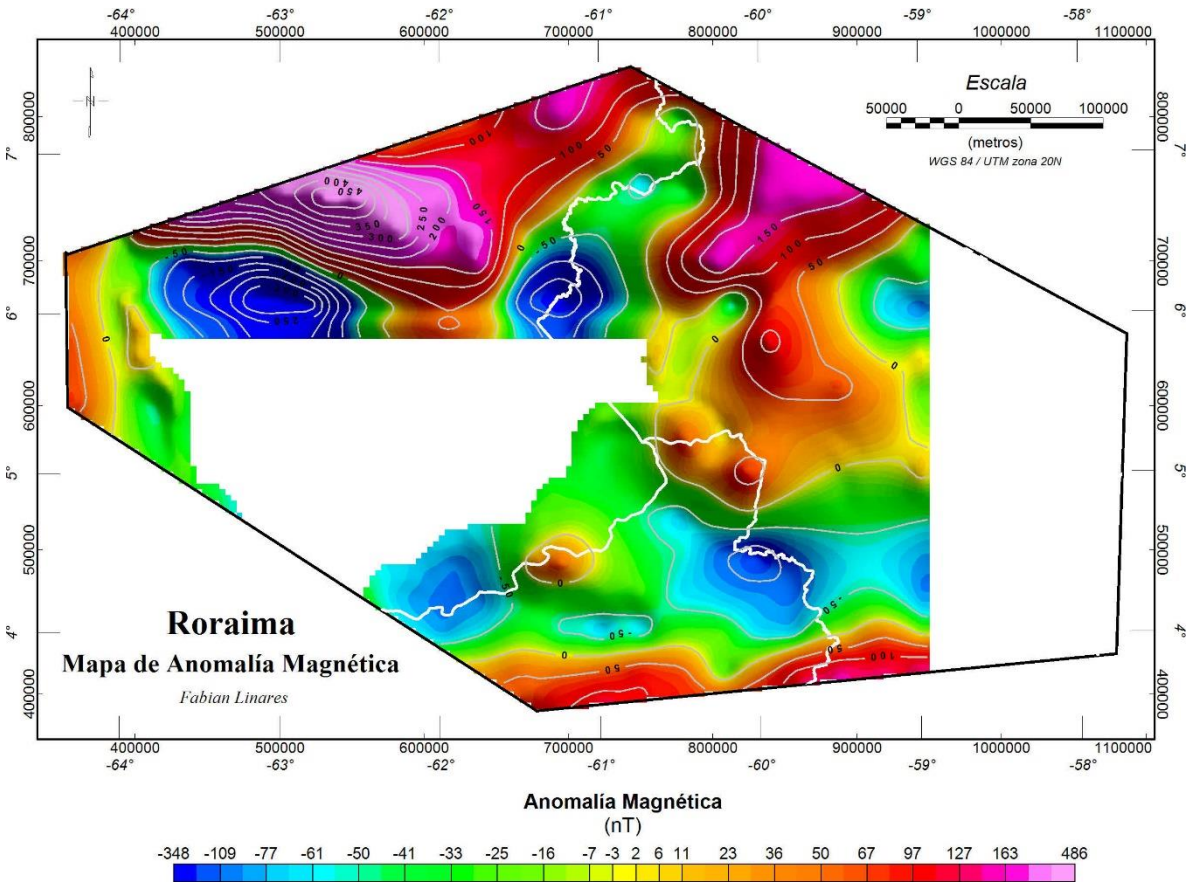


Figura 100. Mapa de anomalías magnéticas de Roraima. Líneas de contorno cada 50 nT.

No obstante, en los mapas magnéticos se aprecia al menos dos conjuntos de fajas tectónicas, divididas por una anomalía negativa entre 0 nT y -200 nT que va en dirección SO-NE y que parece dividir a dos secciones de los CRV. Con esto no se infiere que las secciones sean composicionalmente diferentes, solo se resalta la característica tectónica presente por el meridiano -61°. Ambos mapas a su vez, indican al menos tres diferentes composiciones asociadas al magnetismo: a) las del norte asociadas a CRV y Supamo con anomalías positivas entre 50 nT aproximadamente y mayores, b) las de la parte central del mapa desde el meridiano -62° hacia el este con anomalías intermedias de entre 50 nT y -50 nT y, c) anomalías negativas de alta magnitud ubicadas hacia el sur y oeste del bloque, que coinciden con la disposición aproximada e inferida de las estructuras que se encuentran por debajo de Cuchivero y Caicara, y que a su vez, por ende, se encuentran por debajo de Roraima. Justo en la frontera del extremo sur inicia la influencia cortical de los cinturones de alto grado, como Kanukú.

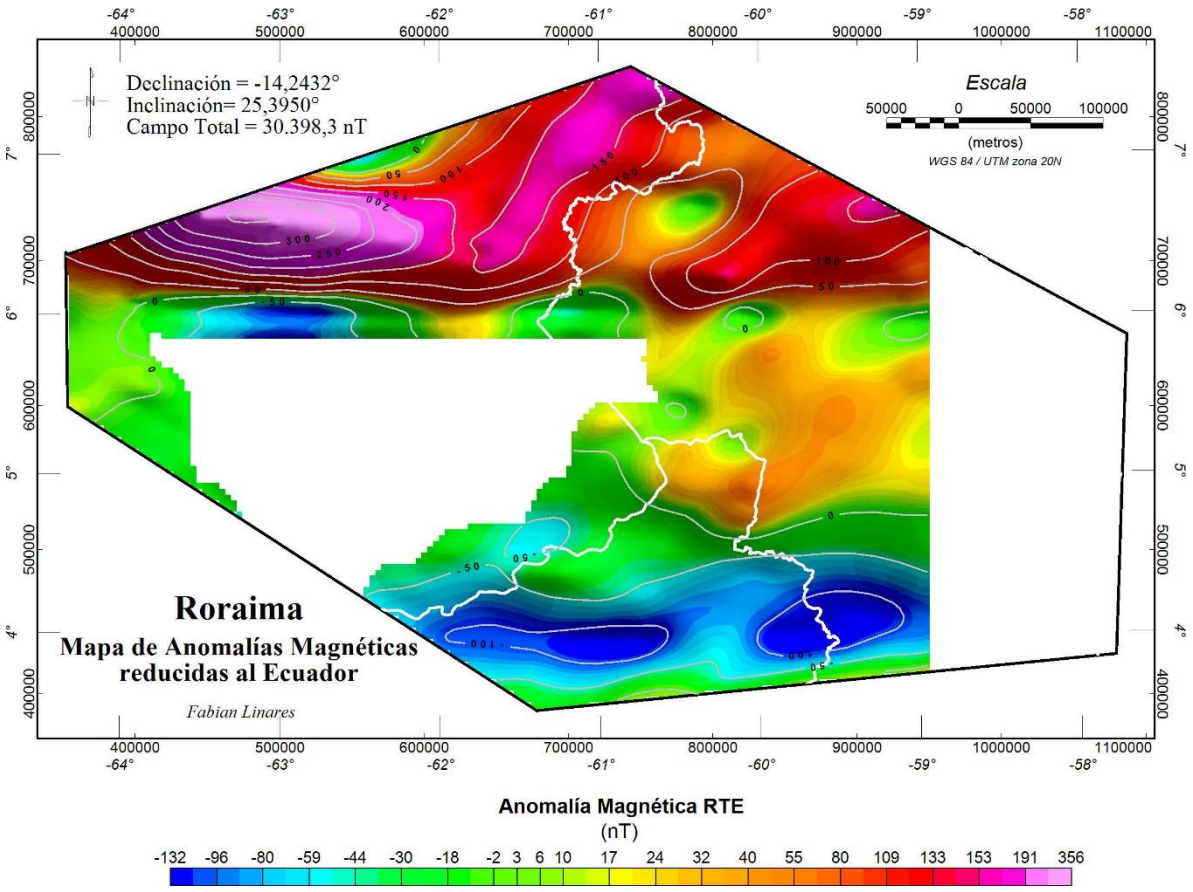


Figura 101. Mapa de anomalías magnéticas de Roraima reducidas al ecuador. Líneas de contorno cada 50 nT.

SEPARACIÓN REGIONAL-RESIDUAL

En el mapa de anomalías regionales (Figura 102) se han marcado algunas zonas con nombres de litologías asociadas tales como CRV, Supamo, Cuchivero-Caicara y Cinturón de Alto Grado Kanukú. Estas delimitaciones no pretender inferir que la corteza a niveles profundos este compuesta de estas litologías, ya que se ha demostrado que rocas ígneas descansan sobre los CRV y que los cinturones de alto grado se encuentran sobrecorriendo unos a otros. Se pretende es demarcar altos y bajos estructurales, donde la corteza superficial debería estar conformada por las litologías que allí se anotan. En las zonas de depresión, la lectura de gravedad es compuesta, una parte obedece a las rocas graníticas y al engrosamiento de la corteza posterior al cierre de estos rifts/grábenes y, por ende, mayor profundidad del manto, y por otra parte el espesor sedimentario que cubre estas zonas. La

corteza preexistente en estas localidades es probablemente CRV que, a su vez, se encuentran limitados por conjuntos de altos estructurales (horsts) donde los CRV parecen estar más cercanos a superficie. Supamo parce haber cristalizado a ambos lados de sistemas de altos estructurares, pero debido a fallas de rumbo, se presenta en la disposición que este mapa sugiere. La principal falla de rumbo obedece a un sistema que corre NE-SO y que parece tener cinemática dextral. Esta sugiere ser la falla de compensación por la cinemática de Guri, pero ubicada más hacia el sur. Esta falla es la que permite el reacomodo de los bloques post colisiones, donde la tracción en Guri deforma la disposición de las estructuras ubicadas al sur de la misma, como se observó en los capítulos de Imataca y Pastora.

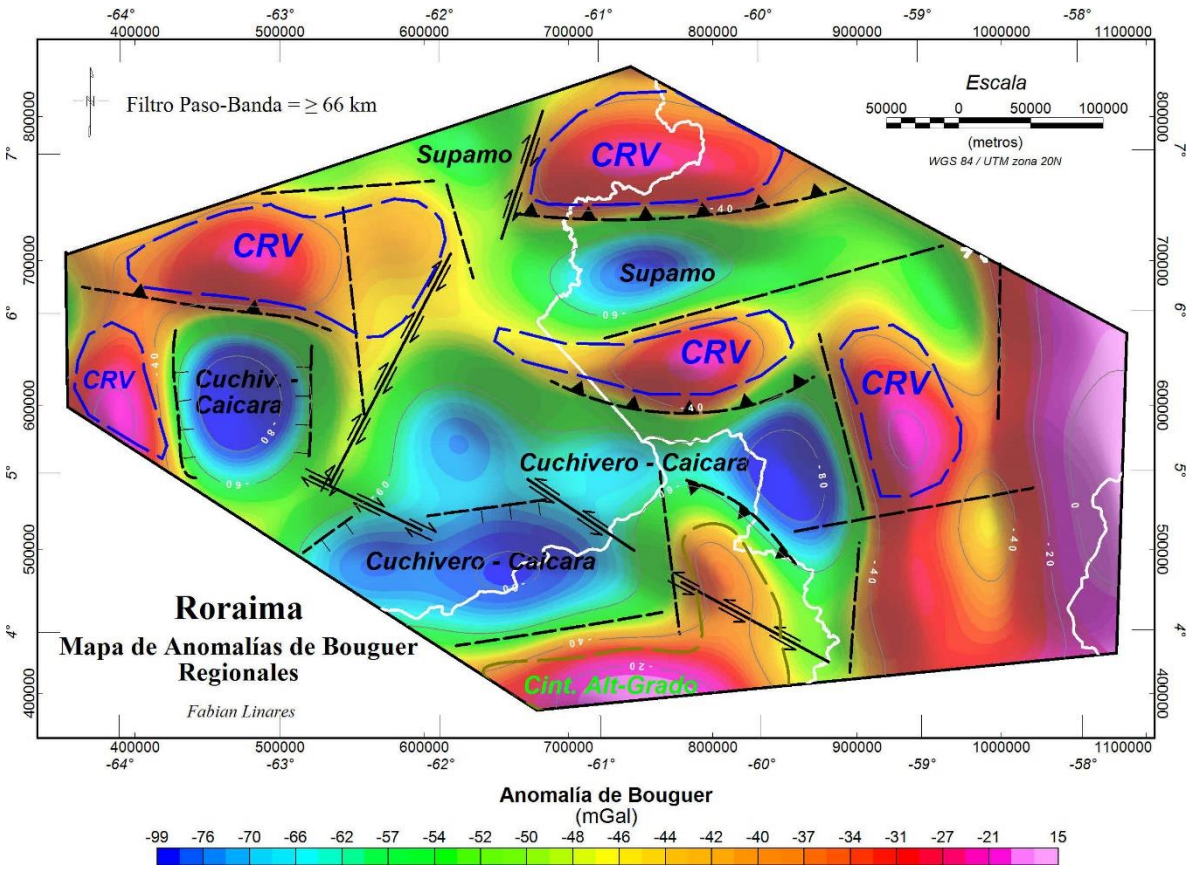


Figura 102. Mapa de anomalías de Bouguer regionales de Roraima.

El mapa residual de gravedad (Figura 103) despliega información estructural que permite trazar las principales fallas en el área, en donde a su vez, se puede observar el cambio de dominio entre lo que es la provincia Cuchivero-Caicara y la provincia CRV-Supamo con una línea en guiones. El sistema principal a acotar es el conjunto de fallas E-O más

regionales, y que parece haber dominado el sistema durante la etapa de amalgama. Al choque no ser frontal, sino oblicuo, las mismas tienden a tener quiebres y pequeñas rotaciones. Las fallas perpendiculares a este sistema son en su mayoría rumbo-deslizantes, algunas de ellas con componente normal, sobre todo en aquellos lugares donde se ubican posibles grábenes. De acuerdo a la observado, las fallas que generan los sistemas de depresión son previos a la colisión, ya que generalmente suelen estar cortados o desplazados por alguna de las fallas E-W o también en algunos casos por las mismas fallas de rumbo. Las zonas de depresión pre-colisión y sistemas tectónicos principales post-colisión fueron los que Avanavero aprovecho como mecanismos de ascenso y cirstalización, luego intruyendo a través de contactos entre formaciones sedimentarias.

Ya que las magnitudes de anomalías no son uniformes para la asociación Avanavero, es probable que las respuestas están más que todo enfocadas en los cambios de composición producto de la tectónica y posterior metamorfismo.

Las respuestas de los mínimos de gravedad, al ser evaluados con la situación tectónica, deberían ser ocasionados por intrusivos inmersos en altos estructurales de CRV. Si se observa el mapa, es una cadena de anomalías con las mismas características, círculos negativos rodeados de anomalías mucho más altas, dos hacia la derecha y uno hacia la izquierda, separados por un rift/graben. Por ende, Caicara cristaliza hacia los márgenes de estos altos principalmente, que concuerdan a su vez con lo interpretado del mapa regional.

Hacia el centro del mapa, las longitudes de onda disminuyen, sugiriendo cuerpos más someros y pequeños. De sur a norte, la zona representa a nivel cortical superior una amalgama de Cuchivero, Caicara, CRV y Supamo, en este orden particular, y todo intensamente fallado y desplazado.

Aparentemente solo se aprecia una diferencia con el mapa regional, y es que el alto estructural donde se encuentran esos cuerpos intrusivos se extiende más hacia el sur de lo que el mapa regional revela, probablemente debido al descenso de la gravedad que la intrusión ocasiona, como ocurre hacia el este.

Estos descensos de gravedad siguen una tendencia N80°O aproximadamente, con un punto de flexión en el centro, cercano a 5°N/61°O. Este consistiría en uno de los ejes principales

de intrusiones, principalmente post-colisión, a través de altos pre-existentes, y hacia los márgenes de estos altos, debido a la presencia de rift/grábenes, extruyen rocas como Caicara.

Si se observa el mapa geológico en la Figura 195, hacia el este del bloque, parece que Cuchivero envuelve a Caicara, pero el dato de gravedad sugiere que esto es producto de fallamiento, donde por compensación de esfuerzos, o toda la sección occidental se movió hacia el SO o parte de la sección oriental se desplazó hacia el NE. De acuerdo a lo observado en otras áreas, y a la cinemática propuesta hasta el momento, la primera opción parece ser la más viable. Las fallas de arrastre observadas hacia Guri ocurren post-colisión, cuando el sistema transcurrente se invierte y el frente de colisión está limitado a seguir su movimiento hacia el SO en el Edo. Amazonas y Brasil.

Si se observa, además, la forma de las estructuras en el extremo sur del bloque se observa que el patrón tectónico es inverso al que se observa un poco más hacia el norte. Esto ocurre porque más al sur, se encuentran los cinturones de alto grado (más estables y masivos), y al ocurrir la inversión de la losa de subducción, estos cinturones tienden en parte a sobrecorrer a Cuchivero.

Se acota a su vez, que la mayor parte de las anomalías se encuentran disminuidas en magnitud hacia valores negativos producto de la cobertura sedimentaria relativamente espesa. Esta es aparentemente la sección cortical más gruesa de todo el escudo de Guayana (el escudo de Guaporé no es objeto de este estudio).

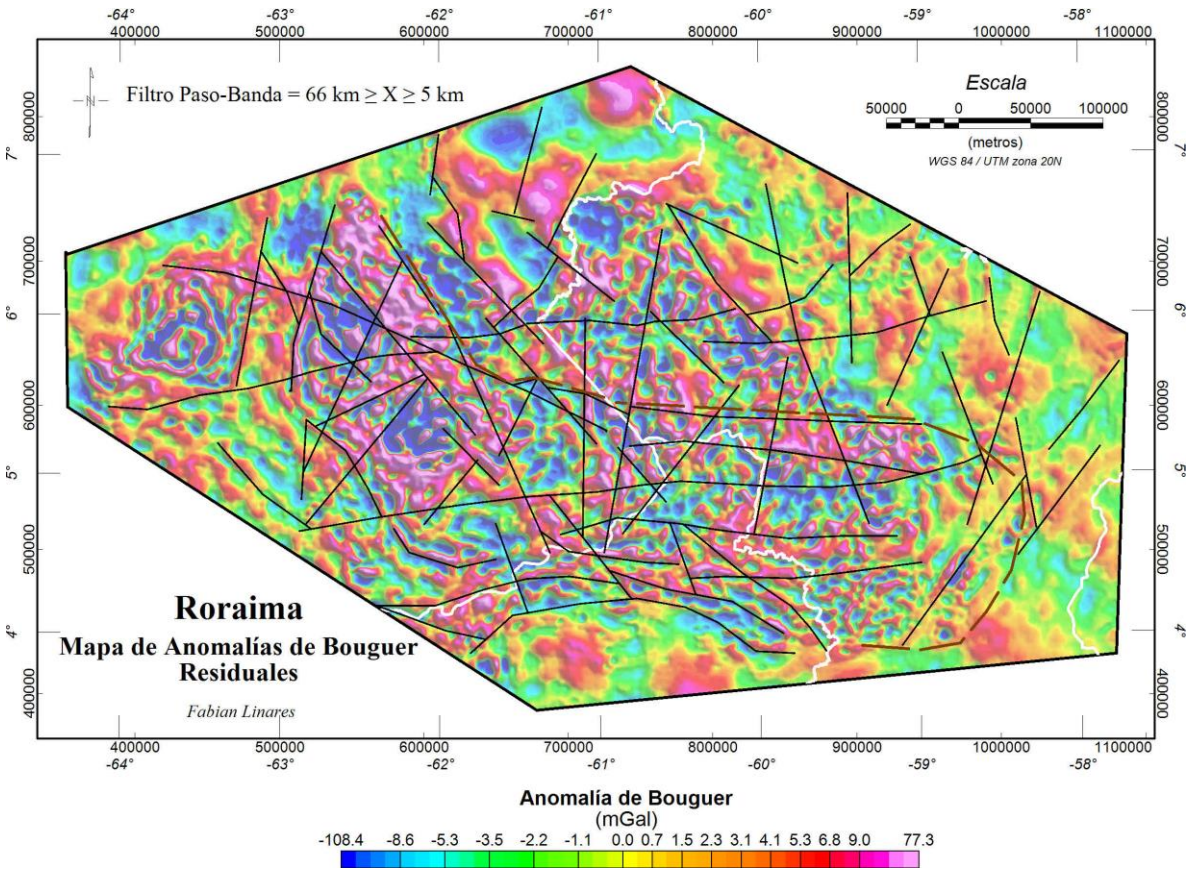


Figura 103. Mapa de anomalías de Bouguer residuales de Roraima.

SEÑAL ANALÍTICA Y DERIVADA TILT

Para el mapa de señal analítica calculada a partir de datos de gravedad (Figura 104), en vista de que la zona esta intensamente fallada, se opta por simplificar en líneas de debilidad estructural. Es decir, estas líneas no corresponden exactamente con la disposición o ubicación de las fallas (para eso remitir al mapa anterior de anomalía residual), sino que pretenden describir la división en bloques que presenta la corteza superior por debajo de las rocas sedimentarias en su aspecto estructural. En el aspecto composicional, toda la sección central es de altos gradientes, y la litología, de cierta manera, es más homogénea al salir de esta zona de fallamiento. No se pretende decir que no existan cambios de composición por fuera de ella, sino que los gradientes de gravedad son de menor magnitud, por ende, bloques de composiciones similares más grandes y masivos, como Supamo o los CRV.

En los principales contrastes que se observan, al ser esta una herramienta que resalta características relativamente superficiales, comprende en primera instancia al contraste entre sedimentos (Roraima) y rocas ígneas y metamórficas. Los sistemas principales que dominan en primera instancia la disposición de las provincias en general son estructuras orientadas aproximadamente E-W. Sin embargo, las estructuras internas a estas provincias tienden a ser NO-SE, que comprenden las estructuras originales antes de la colisión. Posterior a ella, se generan numerosas fallas que controlaron el reacomodo de los bloques que se disponen en orientaciones próximas a SO-NE, algunas incluso más N-S que otras.

Los tres círculos en color azul indican los sistemas intrusivos mencionados anteriormente, que coinciden con zonas de alto gradiente, uno de ellos separado hacia el oeste por fallas rumbo-deslizantes, y los otros dos restantes también separados por algunas fallas de similar naturaleza, pero de menor tamaño y efecto, ubicados dentro de los que sugiere ser un alto estructural (según el mapa regional). Estos intrusivos corresponderían a las intrusiones que se generan hacia las paredes de un graben, independientemente de cuál sea el graben que haya propiciado el magmatismo. Hacia el noreste, pero dentro de esta zona de alto gradiente, se dibuja en triangulo deforme en color azul, que obedece a un contraste muy marcado entre litologías que subyacen a Roraima, en lo cual están involucrados los CRV. Supamo en este mapa, al igual que Cuchivero, suele representarse con zonas de bajo gradiente, es decir, cercanos a 0 mGal/m (colores azules en el mapa). El borde que delimite el cambio de dominio superficial aun es incierto, pero los resultados hasta ahora tienden a sugerir que es aproximadamente N80°O, y que se encuentra ubicado hacia el noreste de las zonas de alto gradiente, próximo al triangulo azul. No obstante, esto es solo en términos superficiales, ya que la extensión de estos CRV, como se observó en el capítulo de Cuchivero, alcanzan extensiones probablemente hasta el Edo. Amazonas. Por otra parte, es probable que no necesariamente los CRV lleguen tan lejos hacia el oeste, y en tal caso, la corteza debería entonces componerse de algo similar a los cinturones de alto grado del grupo Uraricoera, aunque esto no concordaría con que se tengan rocas de Cuchivero y Caicara tan occidentales, ya que predominaría más rocas como San Carlos, Mitú o Río Negro hacia el oeste del Edo. Bolívar, las cuales fueron los intrusivos de estos cinturones sureños.

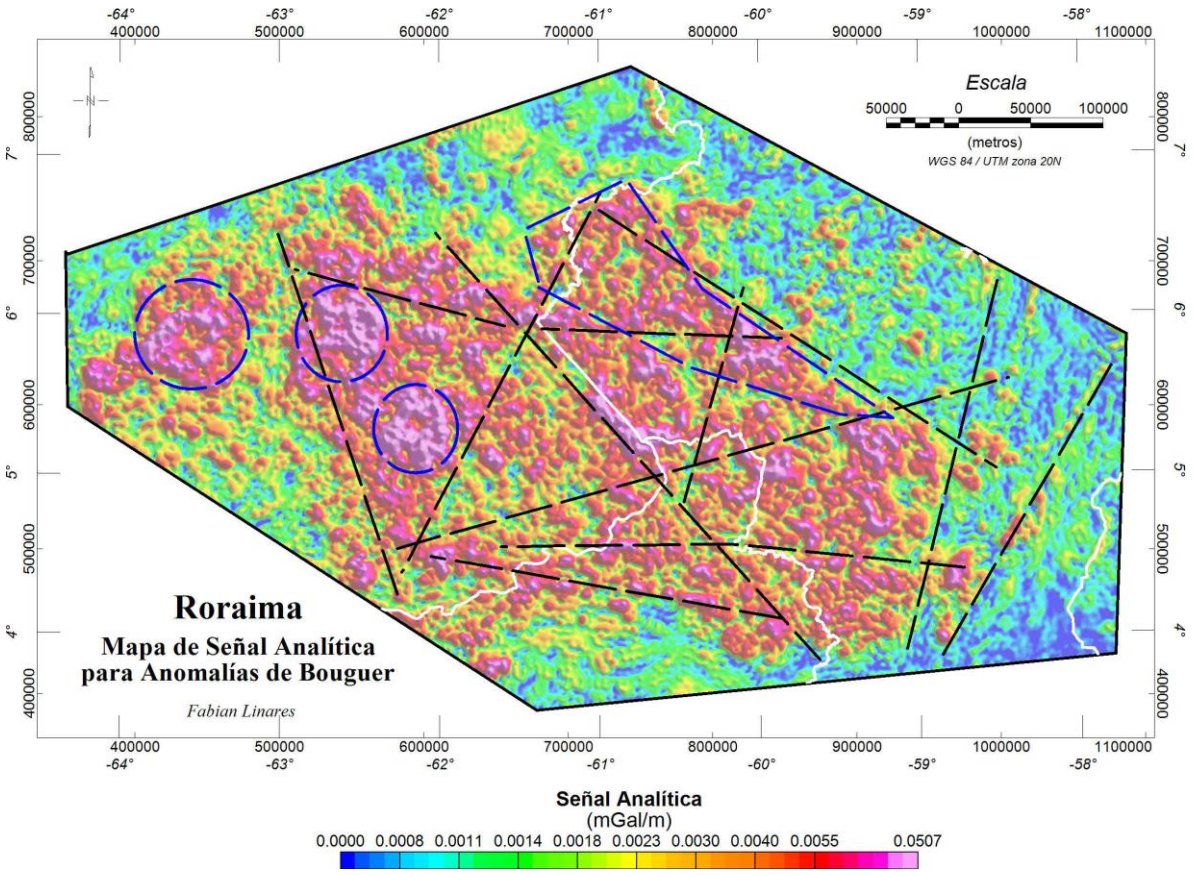


Figura 104. Mapa de señal analítica calculado a partir de datos de anomalías de Bouguer en Roraima.

En el mapa de derivada de la inclinación se resalta la heterogeneidad de la zona a niveles someros, donde los patrones estructurales en su mayoría pueden ser delimitados mediante cambios de tendencia en la distribución de inflexiones de ángulos (Figura 105). Generalmente, aunque no en todos los casos, en los lugares donde la geología reporta la presencia de rocas de la asociación Avanavero, suelen observarse ángulos negativos, indicando la propiedad deficitaria que suelen tener estas rocas en gravedad. En algunas ocasiones también se evidencia con el mapa de señal analítica, con gradientes bajos en el cuerpo en sí, pero relativamente altos en los alrededores, principalmente hacia territorio guyanés.

En el mapa derivada tilt se denotan tres áreas, de las cuales las número 2 y 3 consisten en cuerpos relativamente homogéneos de CRV y Kanukú respectivamente. El polígono número 1 consiste en el alto estructural desprendido de la cadena de altos relativos observados en los mapas anteriores. Es notable el carácter concéntrico que presentan las

anomalías allí, principalmente atribuible a los cambios de densidad que ocurren entre las rocas sedimentarias y los afloramientos de sill de diabasas.

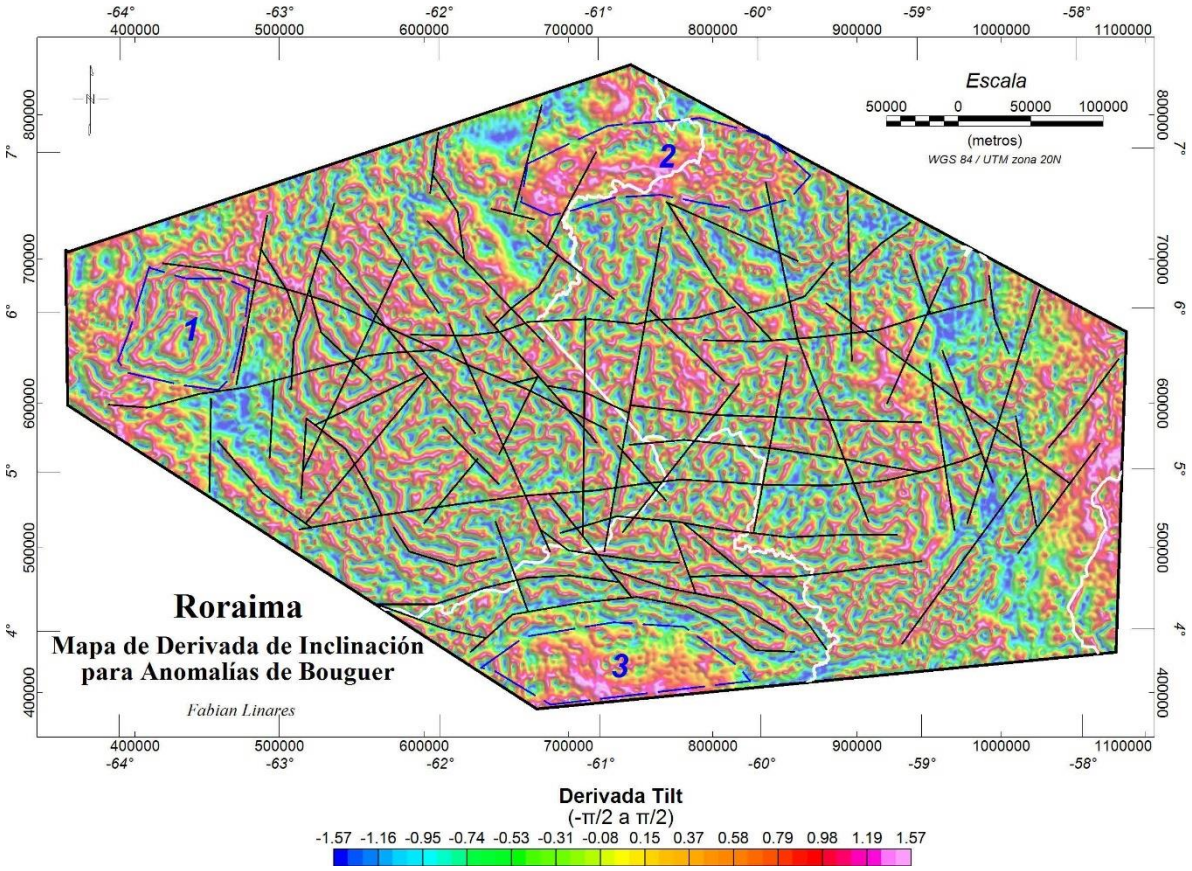


Figura 105. Mapa de derivada de la inclinación (*tilt*) de los datos de anomalías de Bouguer en Roraima.

Los datos magnéticos cubren deficientemente el área seleccionada para la provincia de Roraima, sin embargo, se notan tres bandas principales que parecen diferenciar la composición cortical: a) a partir de los 6°N hacia el norte, gradientes altos, indicando una faja tectónica con algunos quiebres internos por fallamiento, donde no se puede apreciar su alcance hacia el sur debido a la ausencia de datos, de composición dominante de CRV, pero que el contraste magnético lo genera Supamo; b) una banda central de gradientes muy bajos, que concuerdan con la orientación y disposición del grupo Cuchivero-Caicara; y c) hacia el sur, gradientes de intermedios a altos, efecto de las rocas afines a los cinturones de alto grado, como se observó también en el Edo. Amazonas. La zona central es donde se acumula el mayor espesor sedimentario, y por ende, las respuestas magnéticas de los cuerpos profundos se encuentran reducidas.

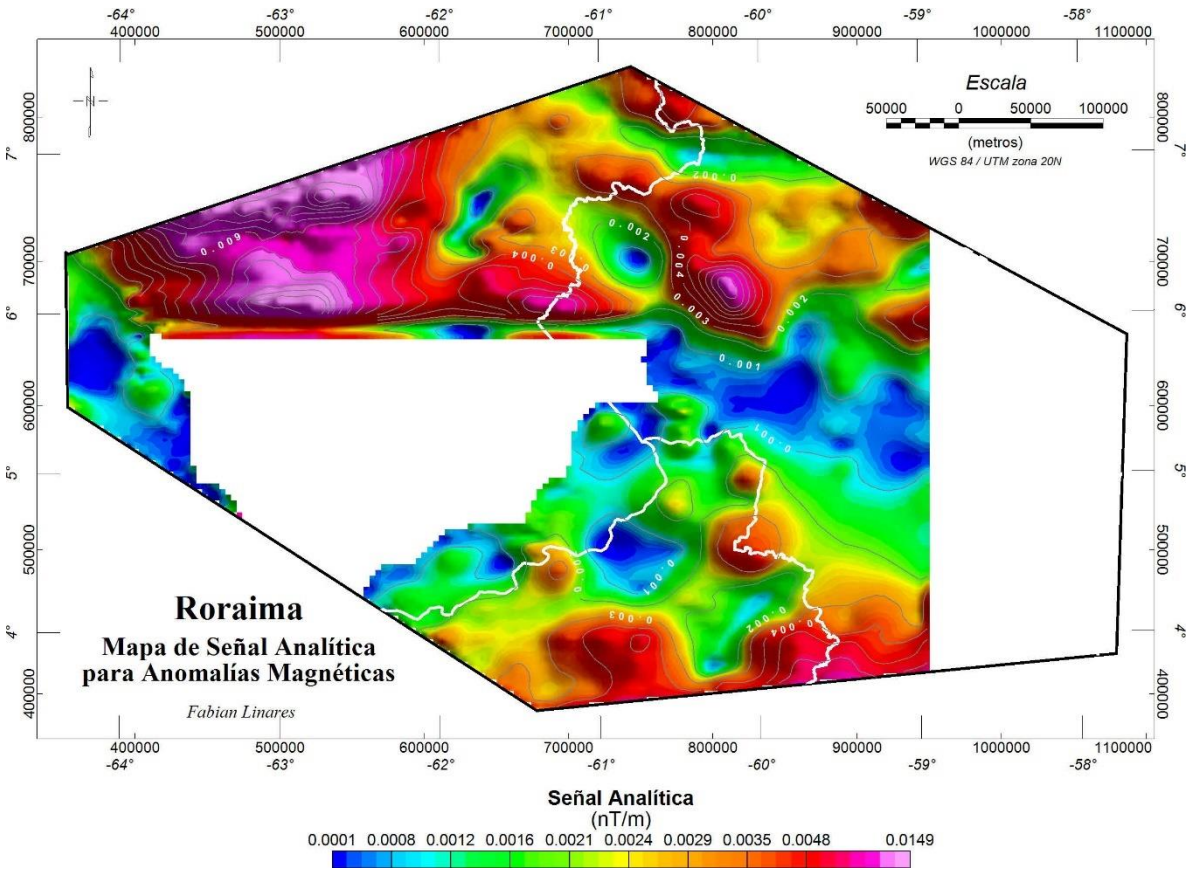


Figura 106. Mapa de señal analítica calculado a partir de datos de anomalía magnética en Roraima. Líneas de contorno cada 0.001 nT/m.

El mapa de derivada tilt magnético revela una característica importante representada en los mapas geológicos, y que en datos de gravedad no se observa bien debido a cambios en las profundidades de las rocas densas, que hacen que todo aumente de gravedad, y es la tendencia curva que presentan las provincias hacia el sureste del área. Hacia este sector, parece existir un sistema estructural SO-NE, principalmente notable por la disposición que tienen algunos bloques del cinturón del grupo Kanukú. Esta característica se proyecta a niveles corticales probablemente intermedios, debido a la amplitud de las anomalías (en términos espaciales) que denotan los contrastes, en otras palabras, los cambios de ángulo no son de alto gradiente.

Otra característica resaltante consiste en la confirmación de tendencias a niveles corticales intermedios de fallamientos orientados SO-NE de aparente componente transcurrente. Debido a la falta de datos, no es posible confirmar sus extensiones, pero aparentemente, al menos dos sistemas se observan: el primero de rumbo y ubicación similar al representado

en el mapa regional de anomalías de Bouguer y, el segundo más hacia el sureste, de aparente menor extensión. También se presenta un sistema inferido más al sur, pero de mucha menor extensión e influencia.

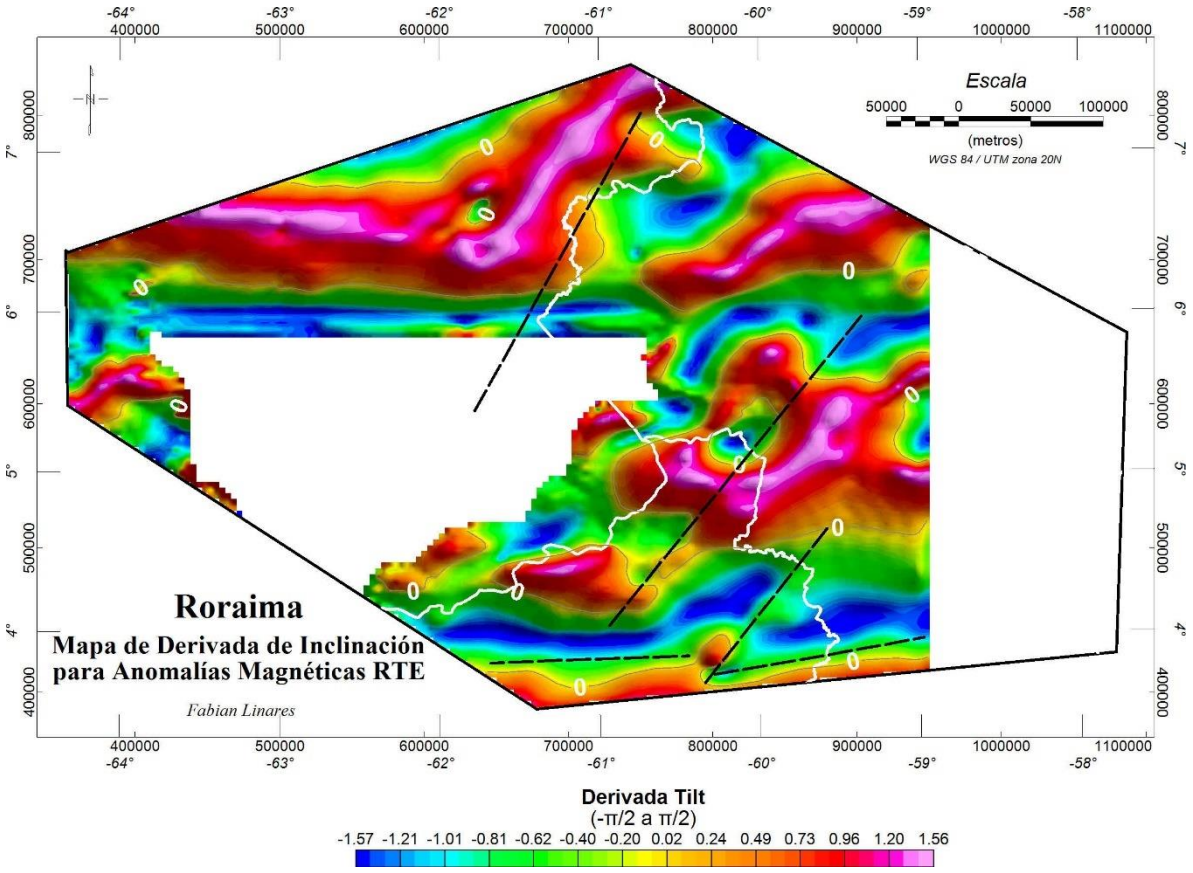


Figura 107. Mapa de derivada de la inclinación a partir de datos de anomalías magnéticas en Roraima. Contornos en valores exactos de 0 radianes.

DERIVADAS DIRECCIONALES

El mapa de derivada vertical (Figura 108) calculado a partir de datos de gravedad confirma los patrones estructurales observados, permitiendo incluso, a través de los patrones de gradientes, establecer diferentes bloques. En primera instancia, hacia los bordes de estos bloques, es común encontrar, al comparar con el mapa geológico, diabasas de las asociaciones Avanavero y Apatoe. El bloque elongado más meridional y el otro bloque más oriental se encuentran compuestos en superficie principalmente por Caicara, pero contiene gradientes que no son observados en el resto del área donde la misma litología aflora; por

ende, se establece que esto obedece a cambios de composición infrayacentes a Caicara. De ello, al observar que todos los bloques presentan similares características, y que aquellos más occidentales correspondían a altos estructurales de CRV, se podría inferir que estas áreas corresponden a bloques partidos de CRV donde de alguna manera, por tectonismo o por magmatismo, se encuentran más someros. Pero ello no es suficiente, ya que CRV afloran al noreste, y no presentan patrones de gradientes similares. Los gradientes ubicados en los bordes del conjunto de anomalías corresponden al contraste sedimentos-ígneas que ocurre por el supergrupo Roraima.

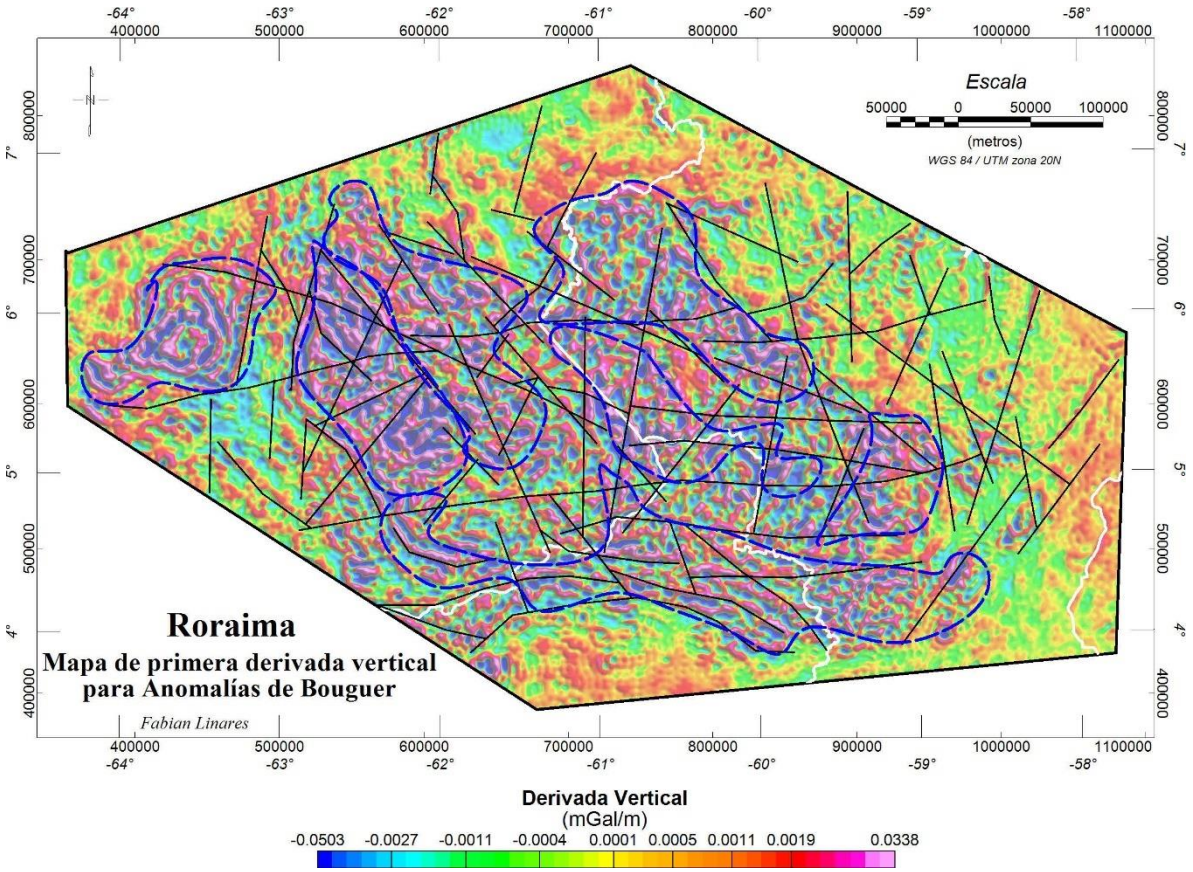


Figura 108. Mapa de primera derivada vertical de datos de anomalía de Bouguer en Roraima.

A lo interno, intrusivos de Avanavero tienden a disminuir la intensidad de estos gradientes, hacia los bordes de estos bloques. Las zonas internas que presentan bajos gradientes, que aparecen como surcos entre estos bloques podrían corresponder a composición superficial de Supamo o Cuchivero, dependiendo del límite inferido, y que los altos gradientes son una

combinación de la respuesta de la gran heterogeneidad de los CRV metamorfizados y los contrastes superiores entre sedimentos e intrusivos.

Esta diferencia en los patrones de gradiente se observa mejor en el mapa de segunda derivada vertical (Figura 110), en el cual, solo se ha representado los bloques mencionados.

Por otra parte, el mapa de derivada horizontal (Figura 109) es más simplista a la hora de mostrar la división de los bloques principales. No obstante, existen sistemas estructurales que dividen estos grandes bloques en otros más pequeños, pero en rasgos generales, así es como gravitatoriamente se compone la corteza superior. Un bloque al sur comprimido, compuesto principalmente a nivel superior de Cuchivero y Caicara, y tres grandes bloques fallados a lo largo de la sección central del mapa compuesto probablemente en su mayoría de rocas pertenecientes a los CRV.

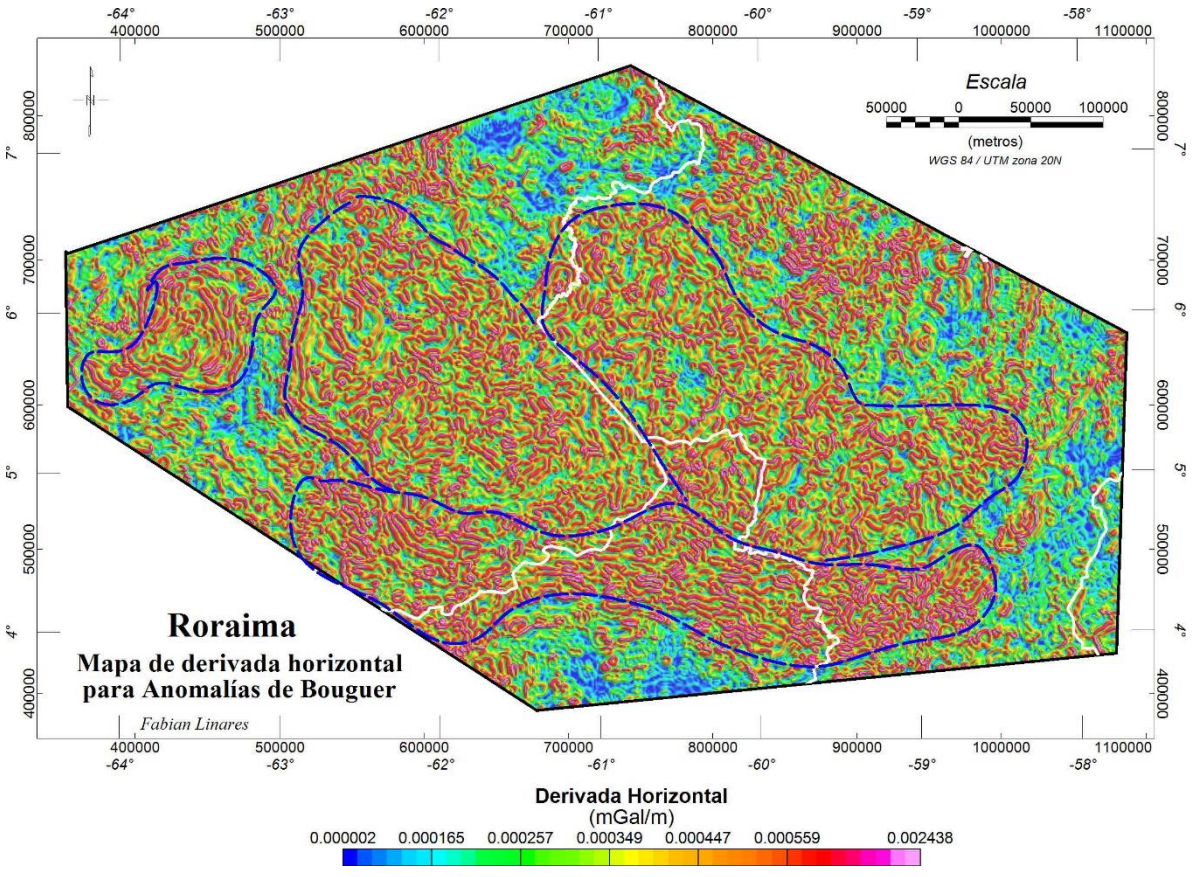


Figura 109. Mapa de derivada horizontal a partir de datos de gravedad en Roraima.

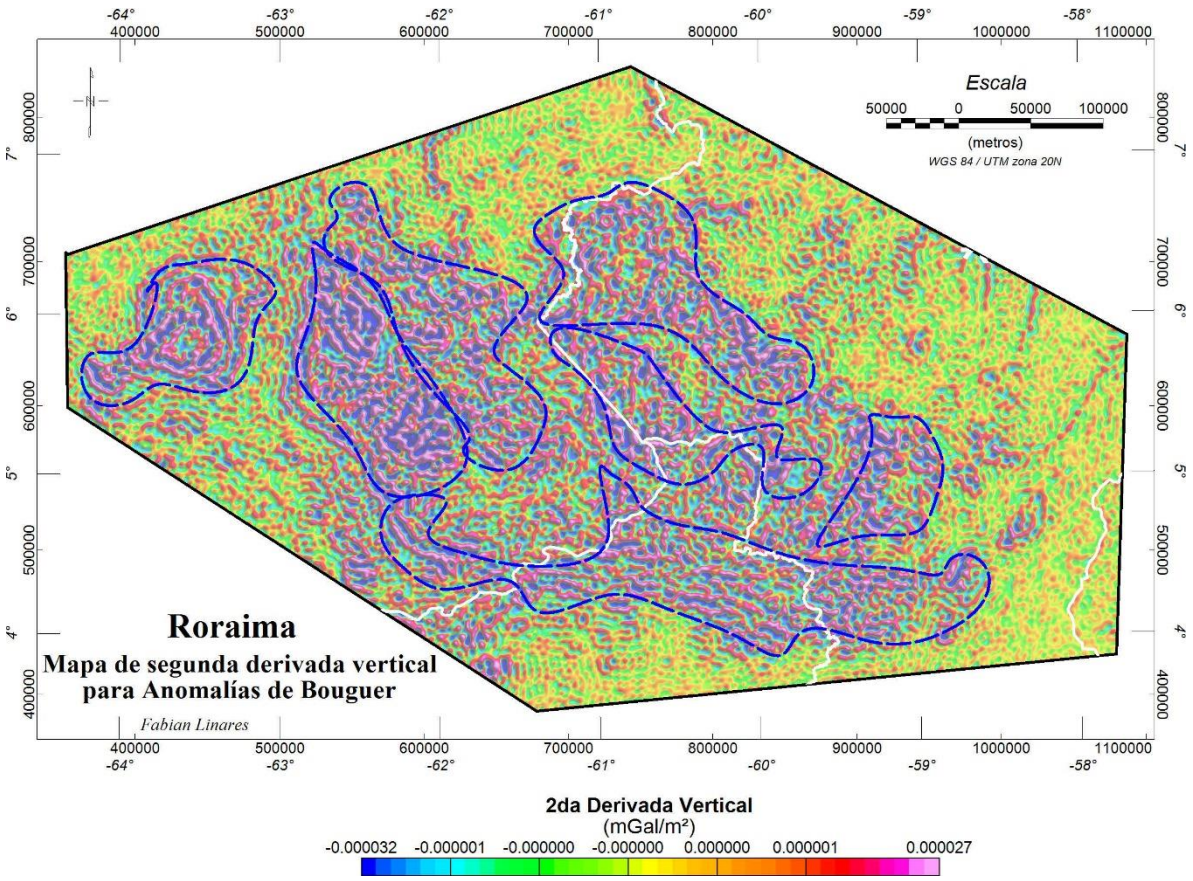


Figura 110. Mapa de segunda derivada vertical a partir de datos de gravedad en Roraima.

DECONVOLUCIÓN DE EULER

Las soluciones de Euler a través de la ubicación de índices estructurales permiten establecer las dimensiones de los cuerpos que expresan las anomalías, en términos de cuales tienen dimensiones conocidas y cuáles no. A medida que el índice aumenta, la cantidad de dimensiones determinables aumenta. En este mapa, la mayoría de las soluciones de índice 0 que representan contrastes más básicos, como contactos, se encuentran en su gran mayoría ubicadas fuera de la zona de afloramiento del Grupo Roraima, esto sugiere que la interfase sedimentos-ígneas/metamórficas dominan el área interna. Ya que los cuerpos intrusivos a Roraima tienden a presentar dimensiones limitadas.

No obstante, lo más resaltante del mapa a través de lineamientos de soluciones, son esas tendencias de puntos rojos y azules en dirección aproximada ONO-ESE, que concuerda con los sistemas estructurales que se infieren para el área por debajo de la cubierta

sedimentaria, y que pasan a orientación E-O en el extremo sur del área. Estos lineamientos se encuentran a su vez delimitando de manera indirecta, sistemas de fallas en muchos de los casos. No en todos, ya que se puede observar cómo se presentan soluciones a anomalías generadas por pequeños cuerpos que reflejan cambios relevantes de composición, en alguna de estas dos soluciones, dependiendo de la ventana de muestreo para el cálculo y las dimensiones del cuerpo en cuestión.

Estos conjuntos reflejan también límites de dominio, ya que por ejemplo hacia el sur, la alineación de soluciones en una línea curva puede representar el sistema principal de amalgama entre las provincias, luego de la influencia de los sistemas de rumbo que reacomodaron los bloques por la colisión oblicua. Hacia el norte se observa un patrón similar, con mayor inclinación NO-SE, cerca de la zona de cambio de afloramiento entre CRV y Roraima en territorio de Guyana, y que se extiende hacia territorio venezolano pero interrumpido por el afloramiento de metalavas y metatobas Xm2.

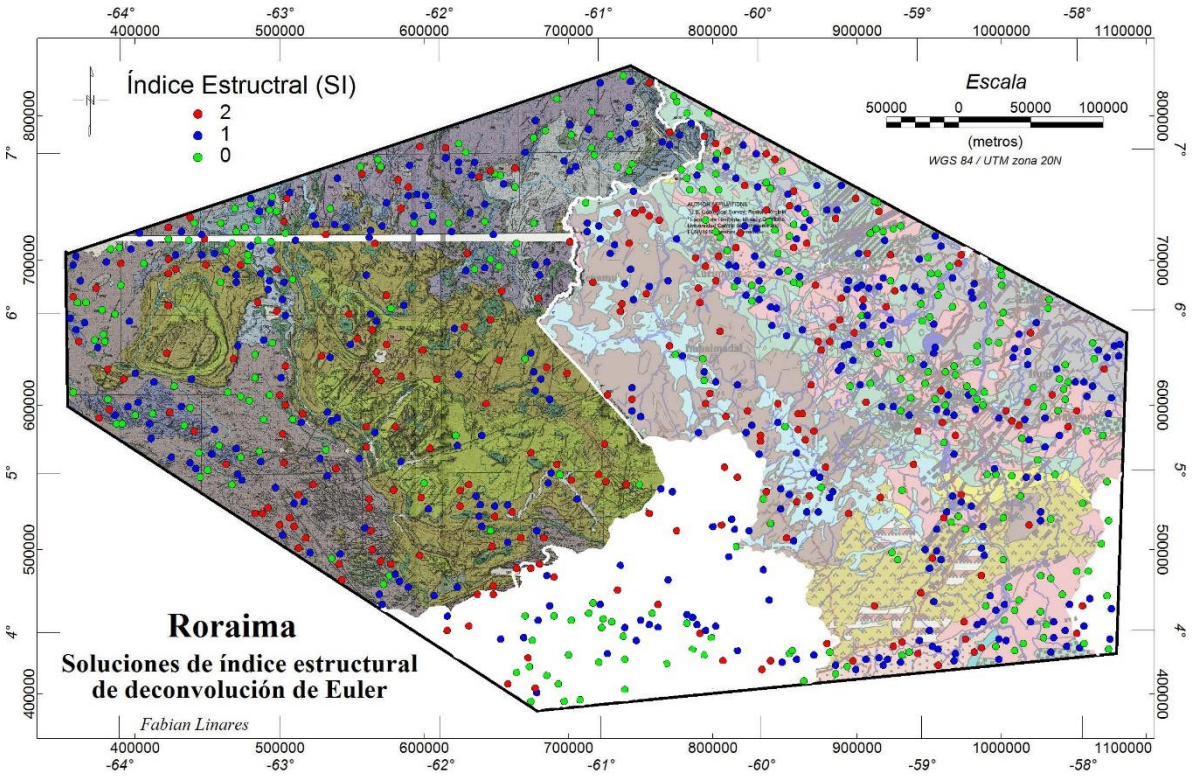


Figura 111. Soluciones de índice estructural (SI) de deconvolución de Euler a partir de datos de gravedad en Roraima; mapas geológicos de fondo.

Luego de calcular los índices se procede a hacer el cálculo de profundidades. La Figura 112 corresponde a las soluciones de profundidad en aquellas ventanas para índice estructural "1". En general, estas soluciones están ubicadas a una profundidad menor a 3.000 m, estando la mayor cantidad de soluciones someras dentro del Supergrupo de Roraima, y soluciones un poco más profundas en las inmediaciones de este bloque. Se destaca que la mayoría de ellas se encuentran alineadas muy cerca de sistemas estructurales relevantes, como en los bordes del graben en el oeste, en los contrastes entre Supamo, CRV y otras rocas al este y noreste, y entre Caicara, Cuchivero y cinturones de alto grado al sur. La disposición de estas soluciones es evidente, provincias orientadas ONO-ESE hacia el occidente, y casi E-O a ESE-ONO hacia el centro-sur, sur y oriente del mapa.

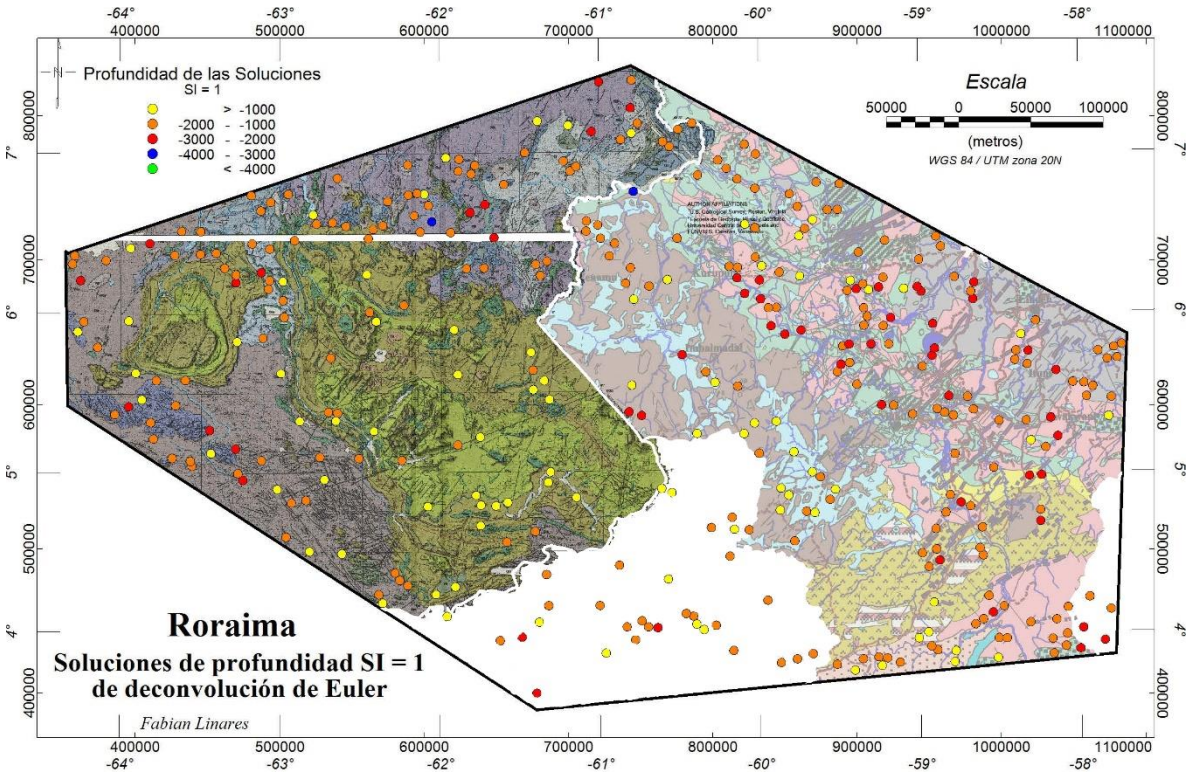


Figura 112. Mapa de soluciones de profundidad de Euler de índice estructural 1 en Roraima.

Para el cálculo utilizando índice estructural "2", las soluciones disminuyen en profundidad, y muchas de ellas se ubican en medio de cuerpos intrusivos, como las asociaciones Avanavero y Apatoe, pequeños cuerpos aislados en superficie de Cuchivero, y otras litologías que se encuentran como zonas de probable alteración y metamorfismo, o

intrusiones a través de fallas pequeñas, que suelen ocurrir en el contacto entre dos litologías principales, como CRV-Supamo o Cuchivero-Caicara. Mediante estas soluciones, junto a las mostradas en el mapa anterior, se puede observar que, hacia la frontera oriental de Roraima, el contacto entre ésta y los CRV podría estar ubicado entre 1 km y 2 km de columna sedimentaria, mientras que hacia el occidente, contacto entre Caicara y Roraima se encontraría a menos de 1 km de columna sedimentaria. Hacia el sur en algunas zonas predomina contrastes a menos de 1 km, y en otras más hacia el este, entre 1 km y 2 km. Hacia el norte, entre Roraima y Supamo-CRV, entre 1 km y 2 km de profundad. Hacia el centro del Supergrupo, donde se alcanza la mayor parte de columna sedimentaria de esta provincia con los miembros medio e inferior, las soluciones que suelen aparecer son menores a 1 km de profundidad, es decir, los miembros medio y superior son de relativo poco espesor.

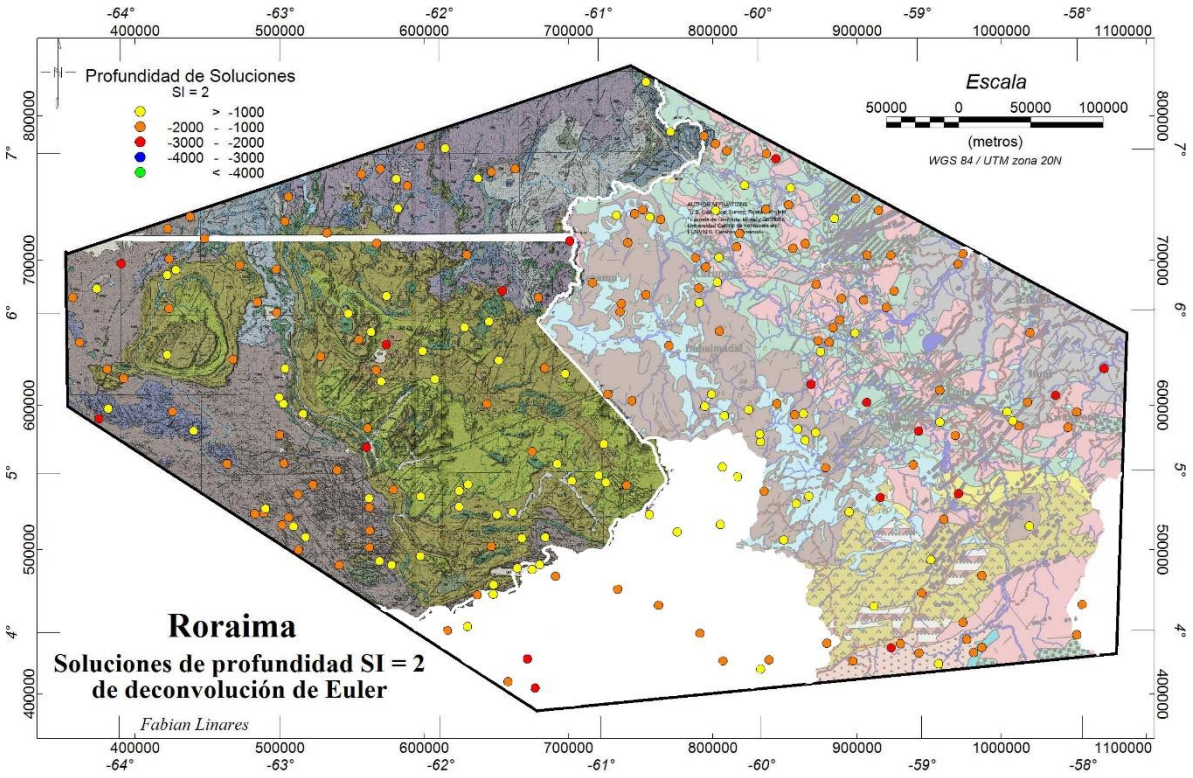


Figura 113. Mapa de soluciones de profundidad de Euler de índice estructural 2 en Roraima.

Los resultados e interpretación de los perfiles generados mediante la deconvolución de Werner y Señal Analítica se encuentran en los Anexos de este documento. Los mismos

constituyen información relevante que amplían y complementan la interpretación de la geología y estructura de esta provincia a partir de los datos de gravedad. Los mismos constituyen fundamentos que nutrirán las conclusiones.

CAPÍTULO VIII
MODELADO

Este apartado comprende la interpretación de tres (3) modelos geológicos 2D construidos mediante el modelaje directo e inverso del valor de anomalía de Bouguer y la información obtenida de la interpretación realizada hasta este capítulo. Los perfiles fueron trazados perpendicularmente a la orientación que presentaron las principales provincias y estructuras geológicas en el Escudo de Guayana. Debido a la disposición variante que presentan estas provincias y lo extenso del área, las estructuras tectónicas no sostienen las mismas orientaciones a lo largo de la zona en estudio. Por ende, se trazan dos (2) perfiles paralelos orientados N60°E y uno (1) con orientación N15°O (Figura 114).

El perfil A-A’ se traza con esa orientación y ubicación para caracterizar los contrastes de anomalía generados por las provincias geológicas ubicadas en el Edo. Amazonas a través de los cinturones que lo componen respecto a la provincia de Cuchivero. A su vez, se establece la disposición que presentan los CRV en el Edo. Bolívar y norte de Guyana, y la disposición y extensión de los intrusivos como Cuchivero y Supamo.

A través del perfil B-B’ se observa la transición entre las provincias de Imataca y Cuchivero, la configuración interna que presentan los diferentes bloques amalgamados en Imataca y el alcance de Parguaza en profundidad.

El objetivo del perfil C-C’ consiste en representar regionalmente cómo se divide la corteza a lo largo de los cambios de provincias geológicas y tectónicas. Hacia el norte, observar la disposición del sistema Guri que marca la transición entre Imataca y Pastora, y hacia el sur, el sistema de subducción abortado que marca la transición entre la corteza compuesta de Cuchivero y CRV y los cinturones de alto grado como Kanukú y Uraricoera.

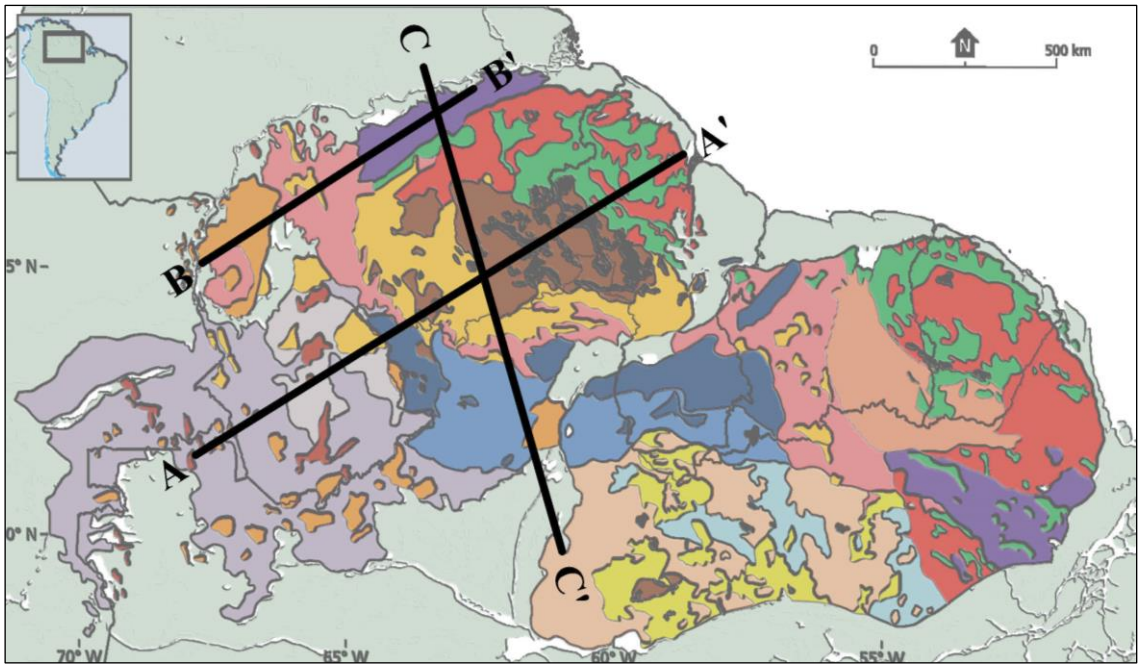


Figura 114. Ubicación de los perfiles modelados sobre un mapa geológico simplificado. (Tomado y modificado de Kroonenberg *et al*., 2016).

El error calculado por el programa GM-SYS de Geosoft Inc. expresado en los perfiles, consiste es la raíz cuadrada del valor promedio de las diferencias de anomalía al cuadrado (*RMS – root mean square*). Estas diferencias se calculan entre el valor de anomalía observado en las estaciones y el valor calculado para estas mismas estaciones ubicadas sobre cuerpos de geometría, profundidad y densidad establecida por el usuario. Es decir, un error inferior a 1, por ejemplo, indica que la raíz cuadrada del promedio de las diferencias al cuadrado de todas las estaciones que se modelan en esa ventana es menor a 1 mGal. Los tres modelos que se presentan a continuación fueron construidos considerando un ajuste final con error inferior a 1. La línea de referencia color azul indica un ajuste con error igual a cero (0) y la línea color rojo indica el error en cada una de las estaciones. Estas líneas y el valor del error de ajuste se encuentran en la sección de anomalía de Bouguer de los modelos (Figura 115, Figura 116 y Figura 117)

MODELO 1

El perfil fue trazado con una orientación aproximada de N60°E, desde la coordenada -35329 m / 164486 m (A) hasta el punto 975539 m / 787052 m (A') en sistema de proyección UTM (Universal Transverse Mercator) con datum WGS84 de zona 20N, como

se muestra en la Figura 115. El error resultante de ajuste es de 0,893 y las anomalías de Bouguer van de los 20 mGal hasta los -80 mGal. Para el cálculo, se optó por realizar el modelado a partir de un mallado de datos filtrado con el fin de evitar longitudes de onda muy cortas generadas por cuerpos geológicos muy pequeños y someros, también para reducir el ruido en la señal, cuyos factores complicarían innecesariamente el proceso de modelado. El objeto principal de estos modelos es, en general, representar las principales estructuras y provincias geológicas, tanto como su disposición relativa entre sí, como su posible alcance en profundidad.

Los bloques se encuentran simplificados y agrupados por provincias y composiciones principales, tal como ha sido descrita la geología en capítulos anteriores.

El perfil se puede dividir en tres secciones principales: a) desde el inicio del perfil hasta el sistema de subducción abortado inferido alrededor de la posición 325 km, que comprende la sección de corteza inferior engrosada y de mayor densidad (2,9 g/cm^3), b) desde sistema de subducción hacia el este, hasta la ubicación aproximada de 850 km, donde la corteza inferior es de relativa menor densidad (2,85 g/cm^3) y de espesor intermedio, y c) a partir de los 850 km de perfil hasta el final del mismo, donde se observa una corteza inferior con densidad de 2,85 g/cm^3, de menor espesor relativo, y con un adelgazamiento de la corteza superficial alrededor de los 950 km de perfil. La principal diferencia entre las secciones “a” y “b-c” es que, a nivel de corteza superior, la sección “a” se encuentra dominada por rocas de relativa mayor densidad en su núcleo (entre 2,72 y 2,75 g/cm^3), compuesta de cinturones metamórficos de alto grado y más recientes, en contraste con una corteza superficial de las secciones “b-c” con densidades en su núcleo de 2,7 g/cm^3 y presumiblemente compuesta en su mayoría de CRV. Mediante esto no se infiere que la composición sea uniforme y homogénea, solo que, a partir de este valor promedio de densidad, para estas dimensiones y profundidad, es lo que ajusta de mejor manera la tendencia regional de las secciones. Posteriormente, se tiene que la diferencia principal entre las secciones “b” y “c” ocurre a niveles más superficiales, y consisten en los diferentes patrones de intrusivos y volcánicas, estando la sección superficial de “b” compuesta mayoritariamente de Cuchivero y Caicara. Como ya se había caracterizado en las deconvoluciones, Caicara no alcanza en general una profundidad mayor a los 2 km.

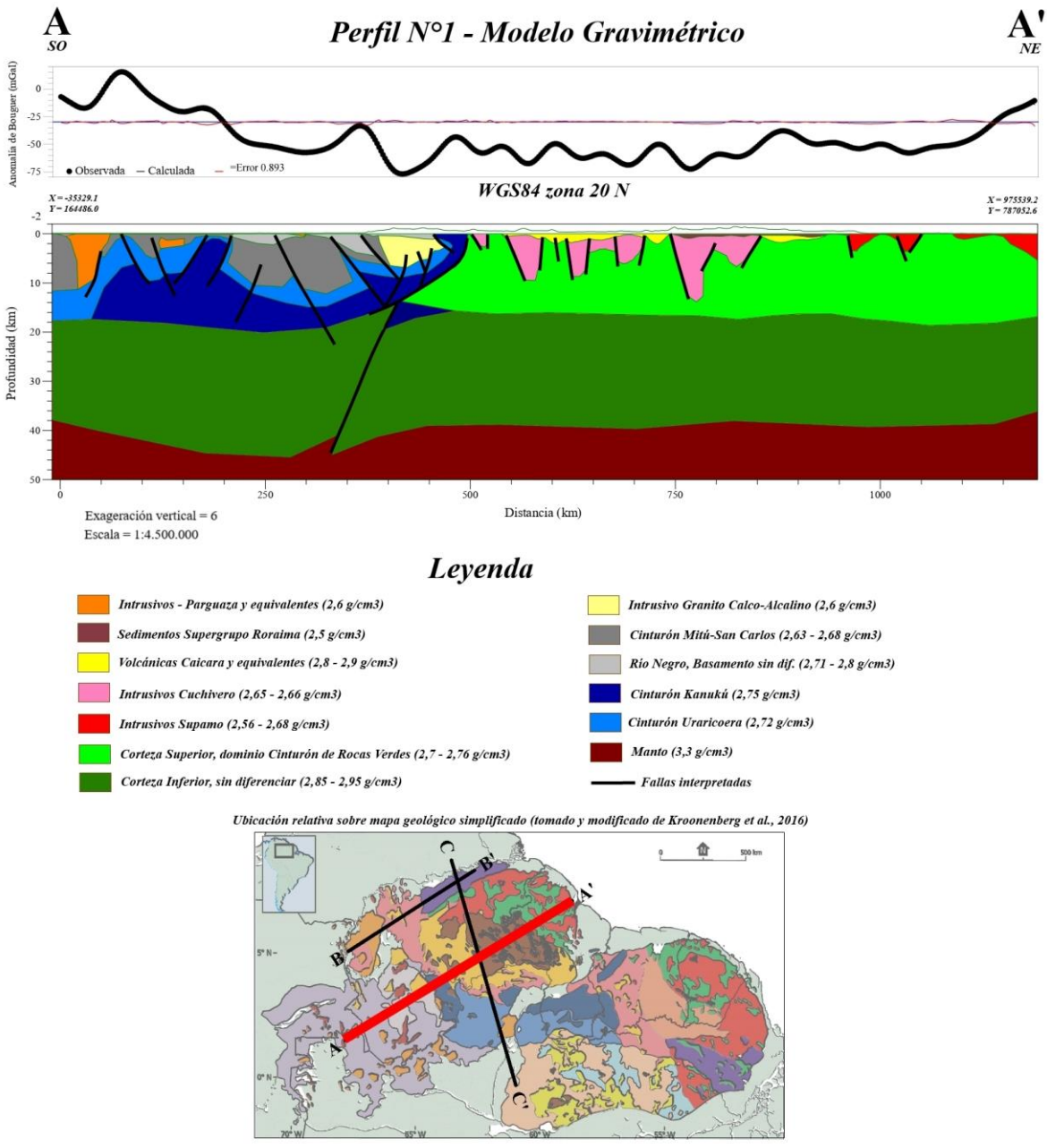


Figura 115. Perfil geológico N°1 construido a partir del modelado de datos de anomalías de Bouguer.

Mediante el perfil y su aproximación a la gravedad, se puede observar que la disposición intrusiva de Supamo es diferente a la de Cuchivero. Cuchivero tiende a valores de densidad más estables, entre 2,65 y 2,66 g/cm^3, y comprende cuerpos como mayor proyección en profundidad, pero menor expresión en superficie, al menos para esta ubicación del perfil, ya que más al norte en el mapa geológico, el patrón de Cuchivero cambia. Por el contrario, las

intrusiones de Supamo son de valores de gravedad más amplios (entre 2,56 y 2,66 g/cm^3) y con menor extensión en profundidad, pero desarrollo considerable en superficie. Se considera que es por este motivo que las soluciones de deconvoluciones por debajo de Supamo eran difíciles de observar, concentrándose en mayor medida soluciones superficiales que indicaban pequeños cambios de composición. En cambio, con Cuchivero, al estar los cuerpos relativamente más verticales y homogéneos, las zonas de contraste con los CRV eran relativamente más evidentes, exceptuando al igual que en Supamo, aquellas que se ubican por debajo del intrusivo. Sin embargo, donde ambos intrusivos alcanzaban un espesor menor, era posible observar la disposición y estructura de los CRV. Esa disposición de altos estructurales y surcos, o horst y graben, se ejemplifica en este perfil. Por ello, tales intrusivos aprovecharon estructuras preexistentes que componían a los CRV y cual sea la litología que en ese momento estuviese en la parte superficial.

La diferencia de edades entre Cuchivero y Caicara se explica por la diferenciación de cristalización en un sistema con flujo de calor decreciente. Si se observa el perfil, Caicara es común tanto por encima de Cuchivero como por encima de los CRV, y por ello, constituye en la sección de magma que logró cristalizar primero más cerca de superficie, mientras continuaba el sistema de calor que permitía el ascenso de Cuchivero. Al calor extinguirse, ya Caicara se encontraba cristalizada mientras Cuchivero iniciaba su enfriamiento. Hacia la provincia de Pastora, el sistema fue similar, pero se evidencia que la exhumación de material volcánico fue menor, ya que las secciones de rocas volcánicas son menores, la mayoría del ascenso magmático se concentró en la cristalización de Supamo. Otro factor a considerar, es que posiblemente la mayor parte de Supamo y sus rocas volcánicas asociadas fueron erosionadas posterior a los primeros levantamientos tectónicos, cuando ocurre la inversión del rift del mar de Pastora.

Muy delgada, pero con influencia relativamente importante en la anomalía de Bouguer, es la capa de sedimentos del Supergrupo Roraima, que se estima que para las ubicaciones por donde este perfil corre, alcanza una profundidad promedio de 0,5 km. Esto sin considerar los espesores de las zonas positivas que suprayacen. La densidad promedio utilizada fue de 2,5 g/cm^3, que concordaría con rocas sedimentarias muy antiguas y consolidadas.

Es de acotar que las estructuras de corrimiento primarias por inversión del sistema de rift, producto de la etapa de primera subducción previa a la inversión de la losa, en este perfil no han sido representadas, ya que corresponden con estructuras que afectan principalmente la estructura interna de los CRV, y que, para efectos del modelado no son relevantes. Estas estructuras son mejor caracterizadas mediante las deconvoluciones.

No obstante, la sección del perfil que mayor deformación y complejidad representa es la "a", ya que corresponde con la última etapa de subducción del sistema posterior a la inversión de la losa, última etapa al menos para la zona objeto de este estudio. El núcleo cortical de la corteza superficial de esta sección lo componen rocas de alto grado metamórfico, pero más recientes que los CRV. Por ende, se interpreta que la sección de corteza delgada posterior a esta amalgama de litología subdujo por debajo de la corteza compuesta por CRV e Imataca, que sirvió de fuente de material (parcialmente, ya que no se descartan zonas como puntos calientes) para el ascenso en principio de Supamo y, posterior a la migración del margen, de Cuchivero. Las secciones que afloran de estos cinturones se encuentran invertidas en orden latitudinal, ya que los sistemas superficiales dominantes son de retro-corrimiento, aun cuando las fallas más profundas son de corrimiento. Al cambiar el sentido de buzamiento del margen de subducción, ahora los intrusivos comienzan a aparecer hacia esta sección, lo cual se evidencia al estos ser más recientes que los anteriores. Tales son los casos de los cinturones Mitú-San Carlos y del basamento sin diferenciar de Río Negro. Ya los flujos magmáticos remanentes, de cuando el sistema inicia el cierre son la asociación Avanavero para los primeros sistemas de subducción donde subducía lo que rodeaba a Kanukú, y posteriormente Parguaza y equivalentes, que corresponde a la última etapa de subducción posterior a la inversión de la losa, que en este caso subduce la corteza donde se encuentran los CRV. Los cuerpos de Parguaza suelen representar mayores dimensiones, algunos de ellos han sido representados en este perfil, ya que tienen un efecto de longitud de onda más larga que por ejemplo las diabasas de la asociación Avanavero, no representadas en este perfil ya que las anomalías que generan son de longitudes de onda más corta.

MODELO 2

El perfil del modelo N°2 (Figura 116) también tiene una orientación aproximada de N60°E, y va desde la ubicación -19282 m / 562442 m (B) hasta 542229 m / 920205 m (B') en sistema de proyección UTM, con datum WGS84 de zona 20N. El modelo fue ajustado hasta un error de 0,842, con anomalías de Bouguer que van desde los 20 mGal hasta los -80 mGal, similar al perfil anterior.

Tectónicamente, es un modelo más sencillo que el anterior, donde el perfil se divide en dos secciones básicas: a) sección occidental compuesta principalmente en corteza superior de rocas de CRV, Cuchivero, Parguaza y Caicara, en este orden de relevancia, y b) sección oriental compuesta en general de la provincia Imataca con sus diferentes fajas tectónicas. El cambio de composición cortical se interpreta alrededor de la ubicación relativa de 300 km en el perfil. La naturaleza profunda del contacto es difícil de precisar, pero sugiere tener buzamiento hacia el oeste, al menos a niveles profundos, ya que más superficialmente, constituye una zona de contacto ígneo con Cuchivero, en la cual, no se descartan sistemas tectónicos, como se observan en los capítulos anteriores.

Las rocas más recientes en este perfil constituyen a los intrusivos de Parguaza, la última etapa de ascenso magmático registrado para la zona, con una densidad relativamente invariante entre 2,6 y 2,62 g/cm^3. Este intrusivo se caracteriza por tener una porción con marcado descenso del valor de gravedad, donde se infiere unos de los principales (sino el principal) foco de ascenso de este intrusivo. Es por ello que el perfil, este cuerpo en esta ubicación particular alcanza profundidades de hasta 15 km, favorecido por sistemas de fallas que corren en los bordes y zonas de alteración por contacto. En este perfil también se evidencia el cambio de patrón intrusivo de Cuchivero mencionado en el perfil anterior, ya que acá tiende a presentar una mayor extensión lateral, y menor alcance en profundidad, pero manteniendo similar rango de densidad. Caicara para esta sección, alcanza una profundidad promedio de 2 km.

A niveles de profundidad mayor, las interfases de contraste Manto-Corteza y Corteza Inferior-Superior se mantienen alrededor de los 40 km y 20 km respectivamente, notando un basculamiento de la sección hacia el este, producto del engrosamiento de la sección que comprende a Imataca.

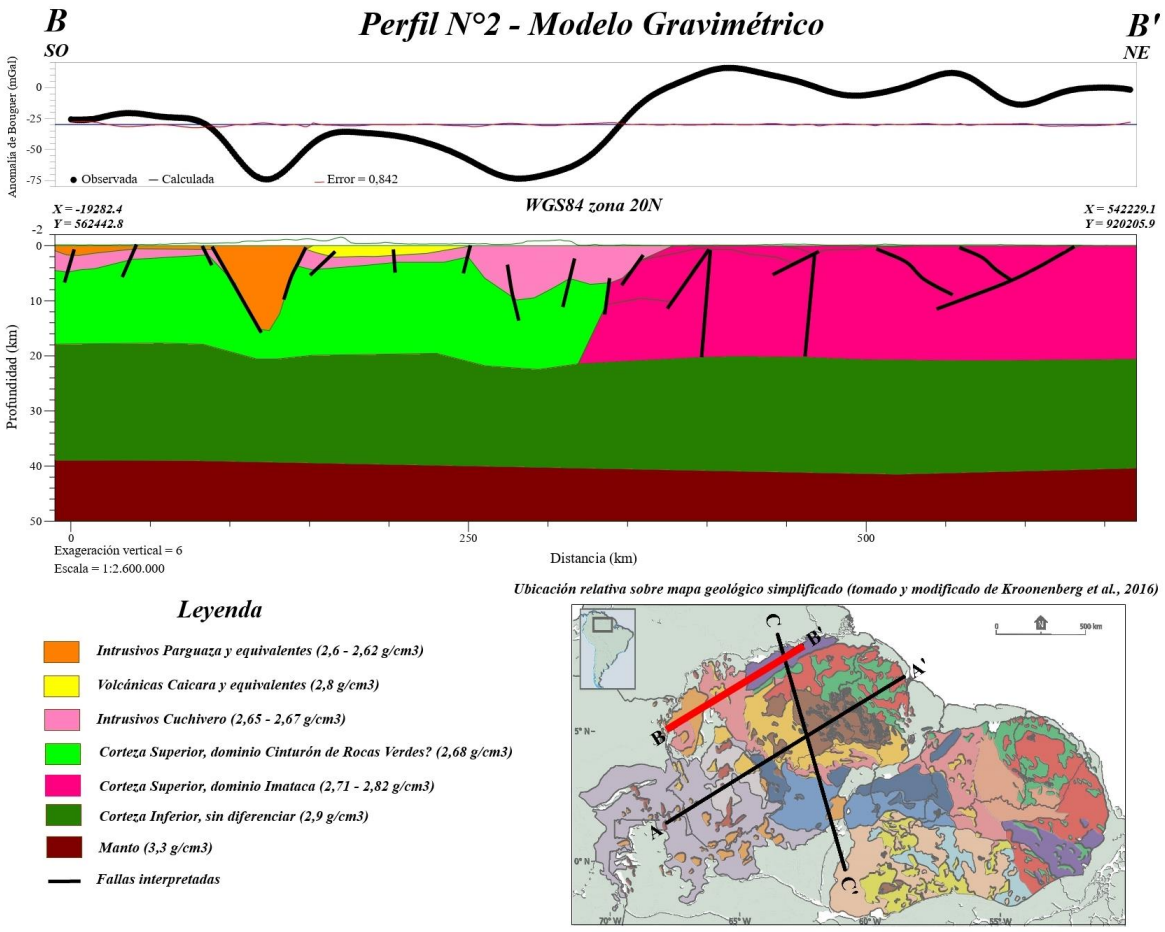


Figura 116. Perfil geológico N°2 construido a partir del modelado de datos de anomalías de Bouguer.

Al observar la curva de anomalía de Bouguer, se observa que, a pesar de que la sección de Imataca es más gruesa, y cuyas profundidades de contrastes son mayores, esta provincia presenta mayores valores de gravedad. Esto ocurre por la densidad que presenta la provincia, la cual comprende un rango muy heterogéneo, entre 2,71 g/cm^3 a 2,82 g/cm^3. La densidad a nivel cortical intermedio, es decir, entre 10 y 20 km de profundidad, las mayores densidades se agrupan hacia el centro o núcleo de la amalgama de fajas, entre 2,76-2,79 g/cm^3. A niveles superficiales, las densidades oscilan alrededor de los 2,71 g/cm^3, exceptuando a una faja tectónica superficial cuya densidad de compensación necesariamente se encuentra alrededor de los 2,82 g/cm^3. Interno a esta amalgama, al menos dos sistemas transcurrentes se observan, consistiendo en sistemas de relevo con disposición similar a una hipotética prolongación del sistema Guri. Es por este motivo que

estas fallas no han sido nombradas, ya que no se puede asegurar que son la continuación del sistema. La dirección de colisión entre los micro-continentes es hacia el oeste, generando una acumulación de bloques con buzamientos hacia el este, a pesar de que varias fallas con vergencia contraria son notadas.

Los mínimos de anomalía de Bouguer observados en el perfil obedecen al canal intrusivo de Parguaza y al engrosamiento de Cuchivero, de oeste a este, respectivamente. En este perfil, la densidad del CRV es menor que en el perfil anterior, alrededor de los 2,68 g/cm^3; esta característica se atribuye a un menor grado de metamorfismo relativo, aunque sigue probablemente siendo de facies de esquistos verdes, o a un protolito diferente.

MODELO 3

El perfil del modelo N°3 (Figura 117) se trazó con una orientación aproximada de N15°O, desde el punto 439651 m / 965213 m (C) al punto 726844 m / -34346 m (C') en proyección UTM, datum WGS84 en zona 20N. El perfil de anomalías de Bouguer abarca un rango entre 30 mGal y -80 mGal, siendo las anomalías más positivas en general hacia el sureste. El perfil fue modelado hasta un error de ajuste de 0,777.

Este perfil presenta tres secciones principales: a) desde el principio del mismo hasta los 200 km aproximados del perfil, compuesto en corteza superficial principalmente de Imataca, y cuya frontera entre las secciones la marca la falla de Guri, b) la sección central entre 200 km y 600 km aproximadamente, cuya corteza superficial se compone mayoritariamente de CRV e intrusivos asociados, y c) desde 600 km hasta el final del perfil, donde la corteza superior se compone principalmente de los cinturones de alto grado, como de los grupos Kanukú y Uraricoera.

El perfil inicia en el NO con la influencia gravitacional de los sedimentos que componen la sección somera de la cuenca Oriental de Venezuela, con una densidad promedio de 2,3 g/cm^3, sobre un basamento presumiblemente compuesto de la prolongación hacia el norte del río Orinoco de Imataca. Al sureste, en el bloque de Imataca, el perfil indica que se encuentra relativamente dentro de una misma faja tectónica, con variabilidad principal vertical, en un sistema estructural similar a un horst. El núcleo, o faja inferior, presenta una densidad de 2,73 g/cm^3, y el bloque o faja superior presenta un rango de densidad entre

2,64 a 2,71 g/cm^3, siendo menor la densidad hacia el norte, hacia la cuenca. Este cambio de densidad es atribuible a la proximidad que presenta el margen sur a una zona de mayor actividad tectónica como es la falla de Guri, con influencia también térmica debido a su proximidad con rocas de Supamo.

Hacia el sur de la falla de Guri se encuentran uno o varios cuerpos intrusivos de Supamo con una densidad promedio de 2,61 g/cm^3, siendo este un valor intermedio, comparado con los valores observados en el perfil del modelo N°1. La mayoría de la corteza superficial, se encuentra compuesta por rocas del CRV, y cual sea la litología que comprende el basamento de estos cinturones. La densidad mayoritaria utilizada para estos CRV es de 2,7 g/cm^3. En esta sección, se observa que la mayoría del perfil se encuentra ubicado sobre un alto estructural, limitado por dos bajos en sus extremos rellenos con intrusivos de Cuchivero. La mayoría de la cobertura de este sistema son volcánicas de Caicara, cuya profundidad de base promedio es de 2,5 km aproximadamente, pero alcanzando en algunos lugares particulares hasta 6 km. Las densidades utilizadas para estos bloques de Caicara son de 2,87 g/cm^3 y 2,8 g/cm^3. Es posible que el bloque oriental con una densidad mayor disminuya el alcance en profundidad que tiene esta litología. La discrepancia que ocurre al hacer esto, es que el contraste con Cuchivero varia, y se hace muy difícil ajustar el valor de gravedad calculada en el mínimo de gravedad ubicado alrededor de los 500 km del perfil. En general, si se observa la curva de anomalía de Bouguer, se percata que esta sección debió presentar una tendencia de anomalía negativa más pronunciada si la extensión de Cuchivero fuese mayor, pero las rocas de Caicara, con valores de densidad mucho mayores a los CRV, ajustan el valor de gravedad hacia anomalías menos negativas.

Más al sur, alrededor de los 600 km del perfil, se observa un cinturón de alto grado corrido sobre los CRV. Este corrimiento no marca específicamente el borde de la antigua subducción, ya que la anomalía regional la ubica más al sur. No obstante, este corrimiento es derivado de este sistema. Más allá de los 650 km aproximadamente de perfil, hacia el SE, se observa que el núcleo de la corteza superior lo compone el cinturón de alto grado de Kanukú, plegado junto al cinturón Uraricoera. Un pequeño intrusivo equivalente a Parguaza de densidad 2,64 g/cm^3, representado por el mapa geológico, se ubica alrededor de los 800 km de perfil. El mismo se encuentra en contacto con un cuerpo de mayor

envergadura compuesto por los granitos de Mapuera, con densidad estimada en 2,61 g/cm^3, y que forma parte de un cinturón relativamente joven (1,89-1,81 Ga) de rocas félsicas volcánicas y granitoides en Brasil. Este cuerpo modelado en particular consiste es la parte granítica intrusiva.

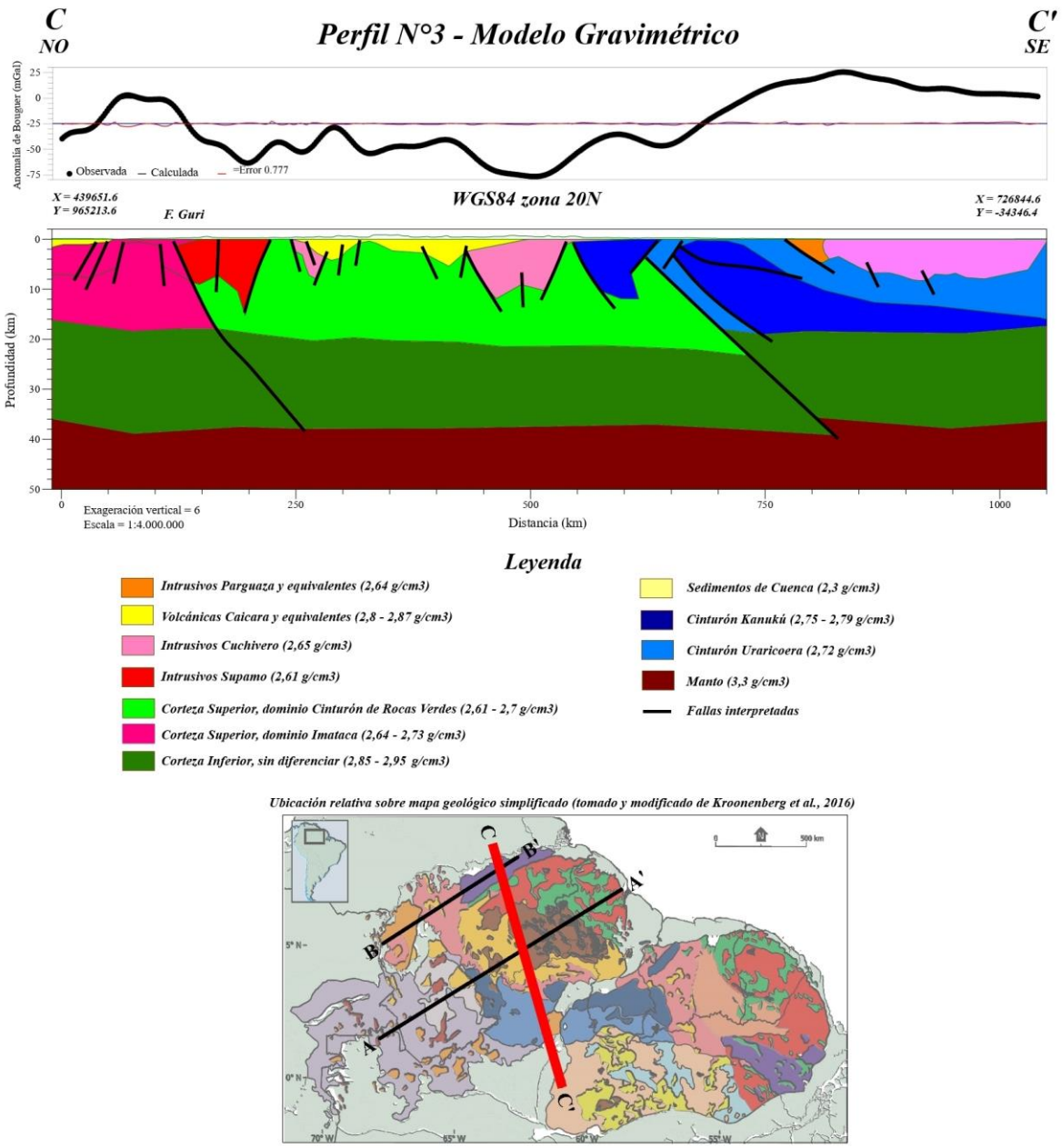


Figura 117. Perfil geológico N°3 construido a partir del modelado de datos de anomalías de Bouguer.

IMAGÉNES COMPILADAS POR PROVINCIA

IMATACA

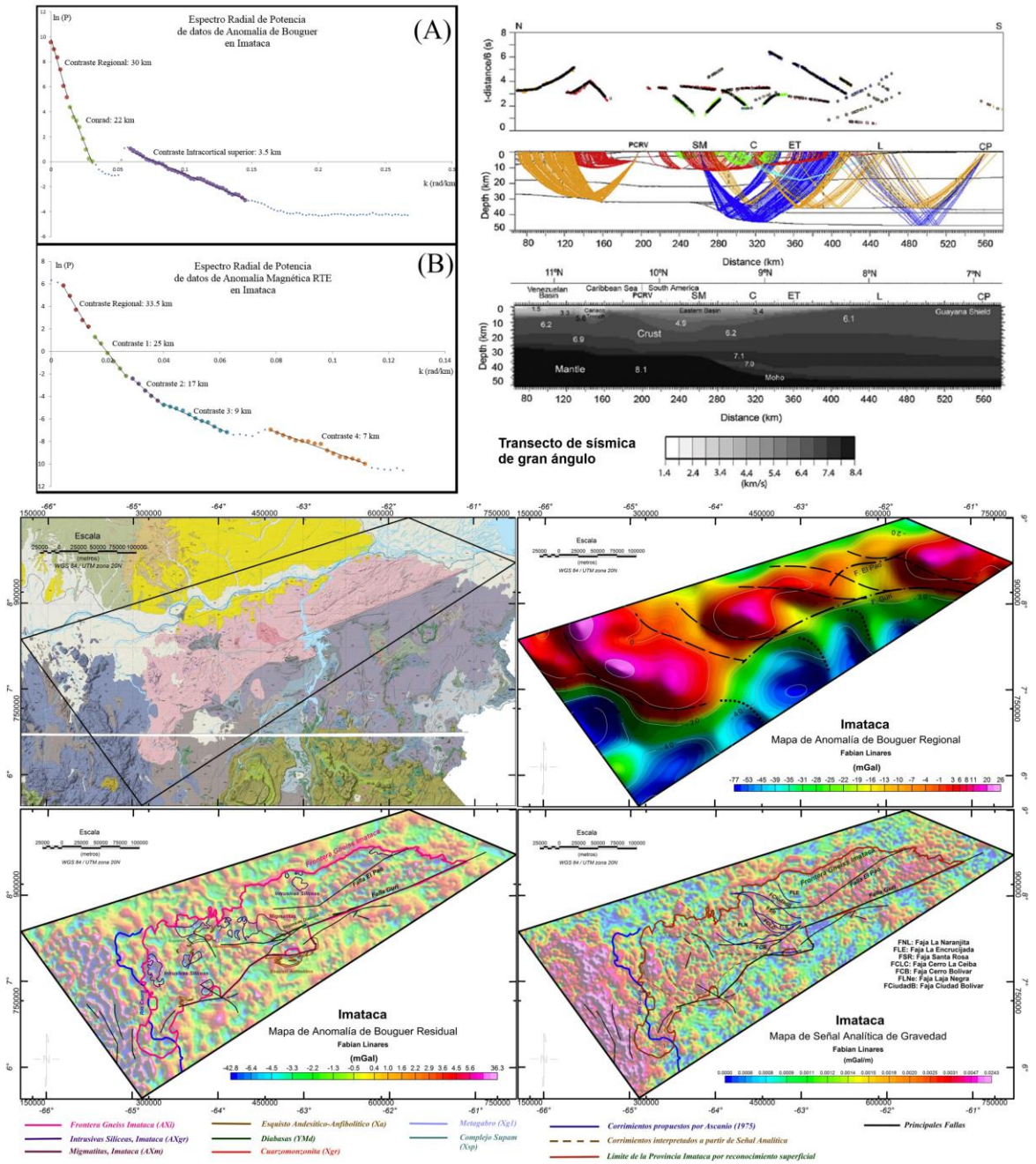


Figura 118. Compilado n°1 para Imataca. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: resultados de los espectros de potencia, transecto de línea sísmica, mapa geológico, malla

de anomalías regionales de Bouguer, malla de anomalías residuales de Bouguer, y mapa de señal analítica calculado a partir de las anomalías de Bouguer.

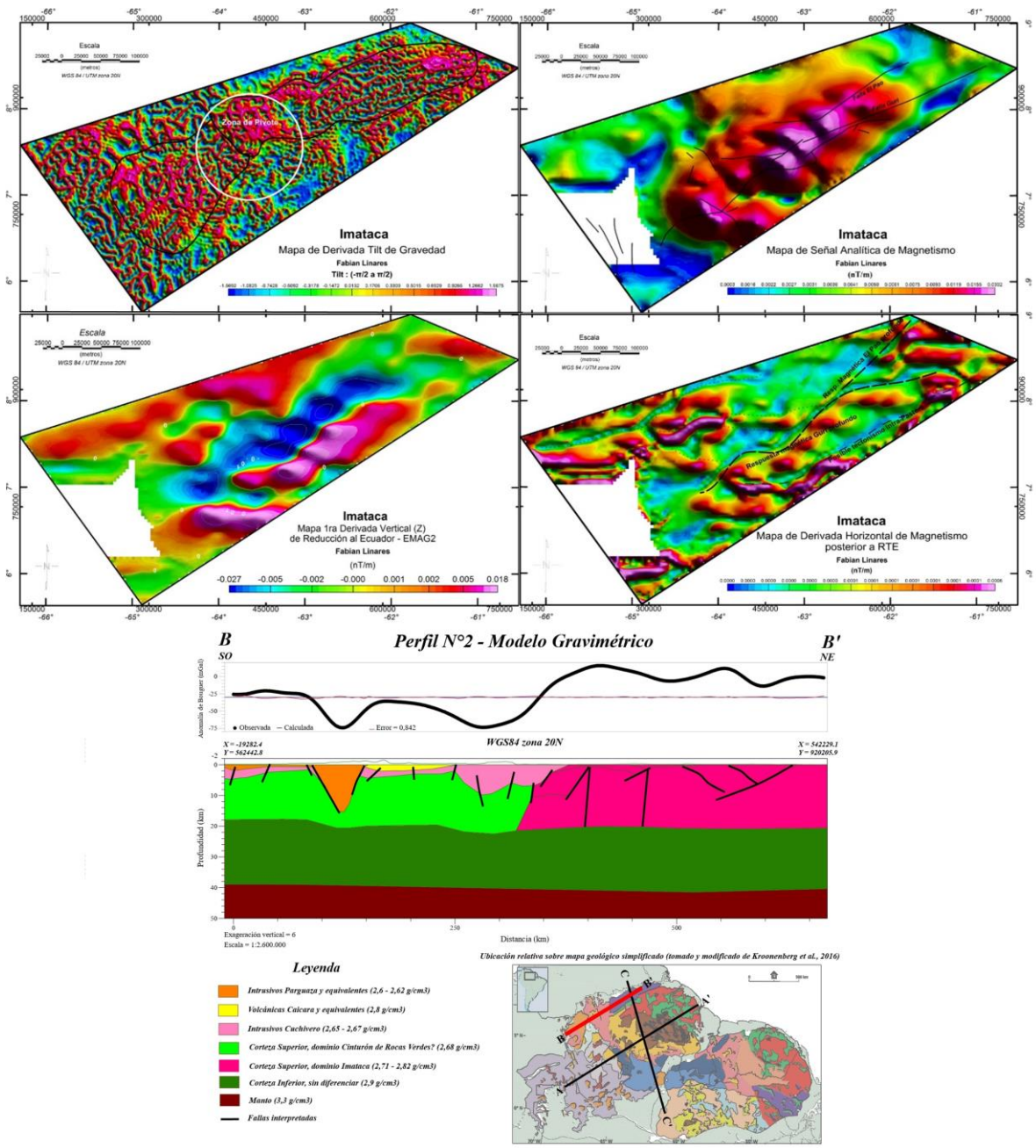


Figura 119. Compilado n°2 para Imataca. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa de derivada tilt de gravedad, mapa de señal analítica calculada a partir de anomalías magnéticas, malla de la derivada vertical de la reducción al ecuador magnético de las anomalías magnéticas, mapa de derivada horizontal de anomalías magnéticas reducidas al ecuador, y modelo geológico/gravimétrico N°2 (B-B').

PASTORA

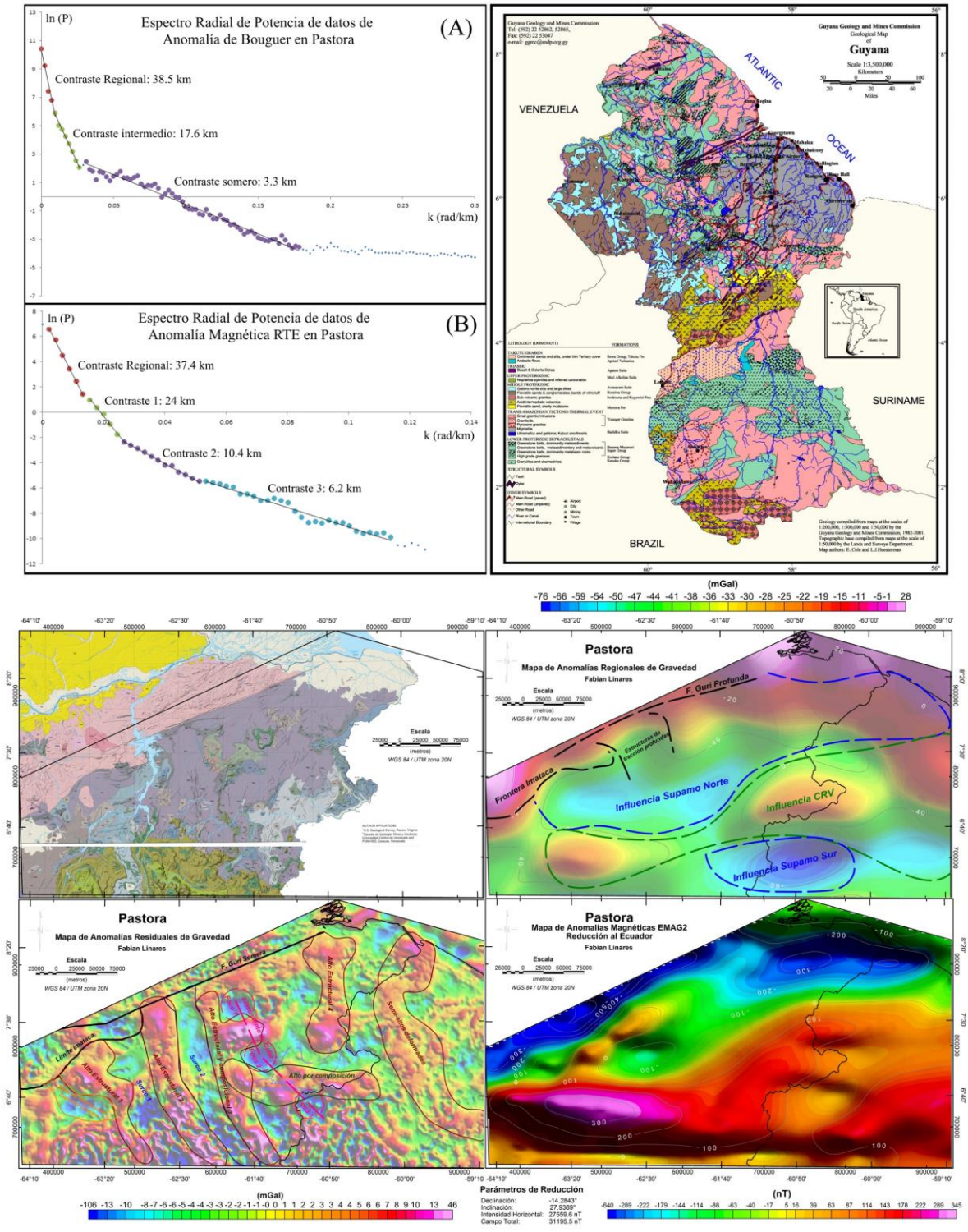


Figura 120. Compilado n°1 para Pastora. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: resultados de los espectros radiales de potencia, mapa geológico de Guyana, mapa geológico de Venezuela – sección Pastora, mapa de anomalías regionales de Bouguer,

mapa de anomalías residuales de Bouguer, y mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador magnético.

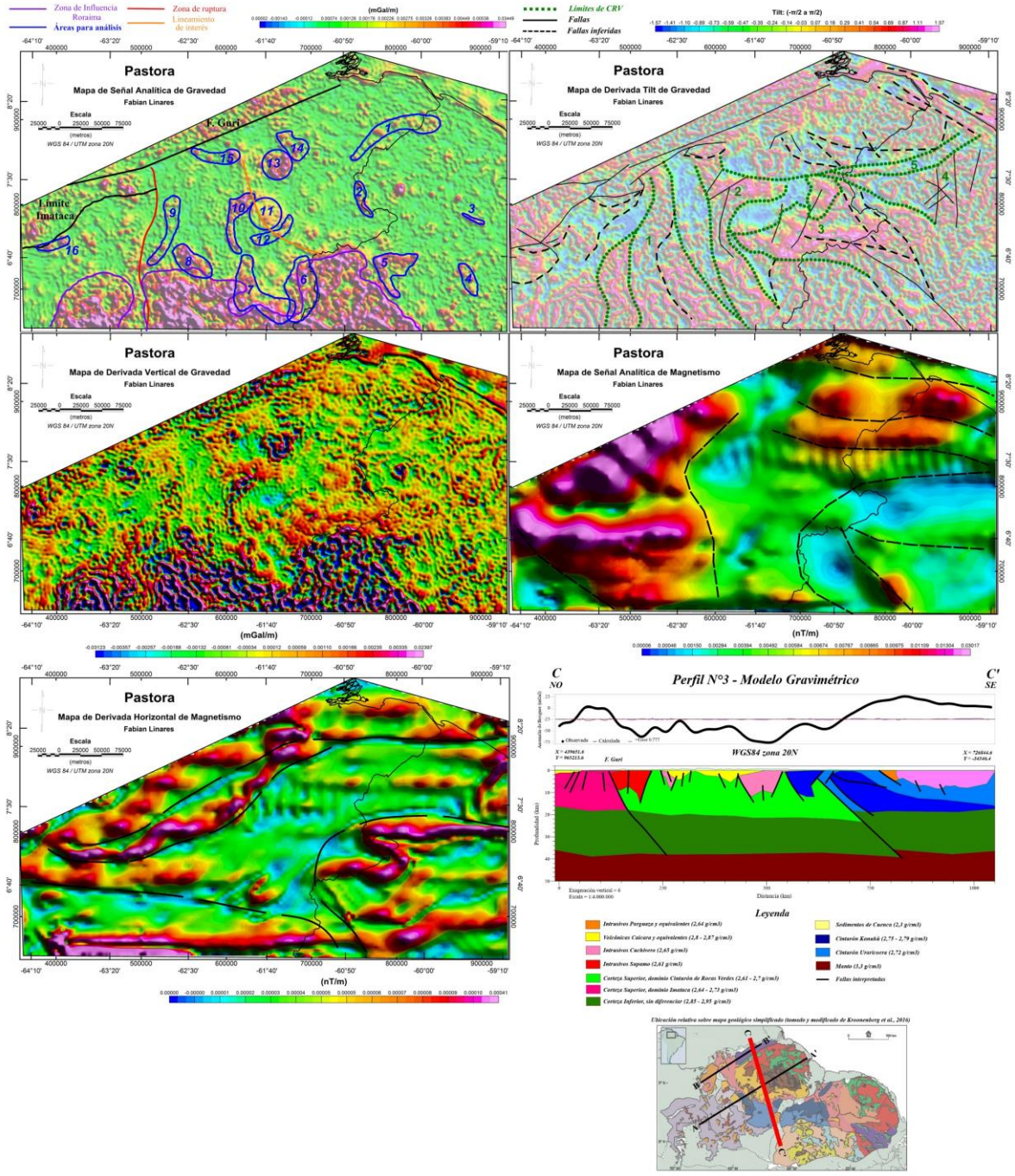


Figura 121. Compilado n°2 para Pastora. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer, mapa de derivada tilt de anomalías de Bouguer, mapa de derivada vertical de anomalía de Bouguer, mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías magnéticas, mapa de derivada horizontal de anomalías magnéticas, y modelo geológico/gravimétrico N°3 (C-C').

CUCHIVERO

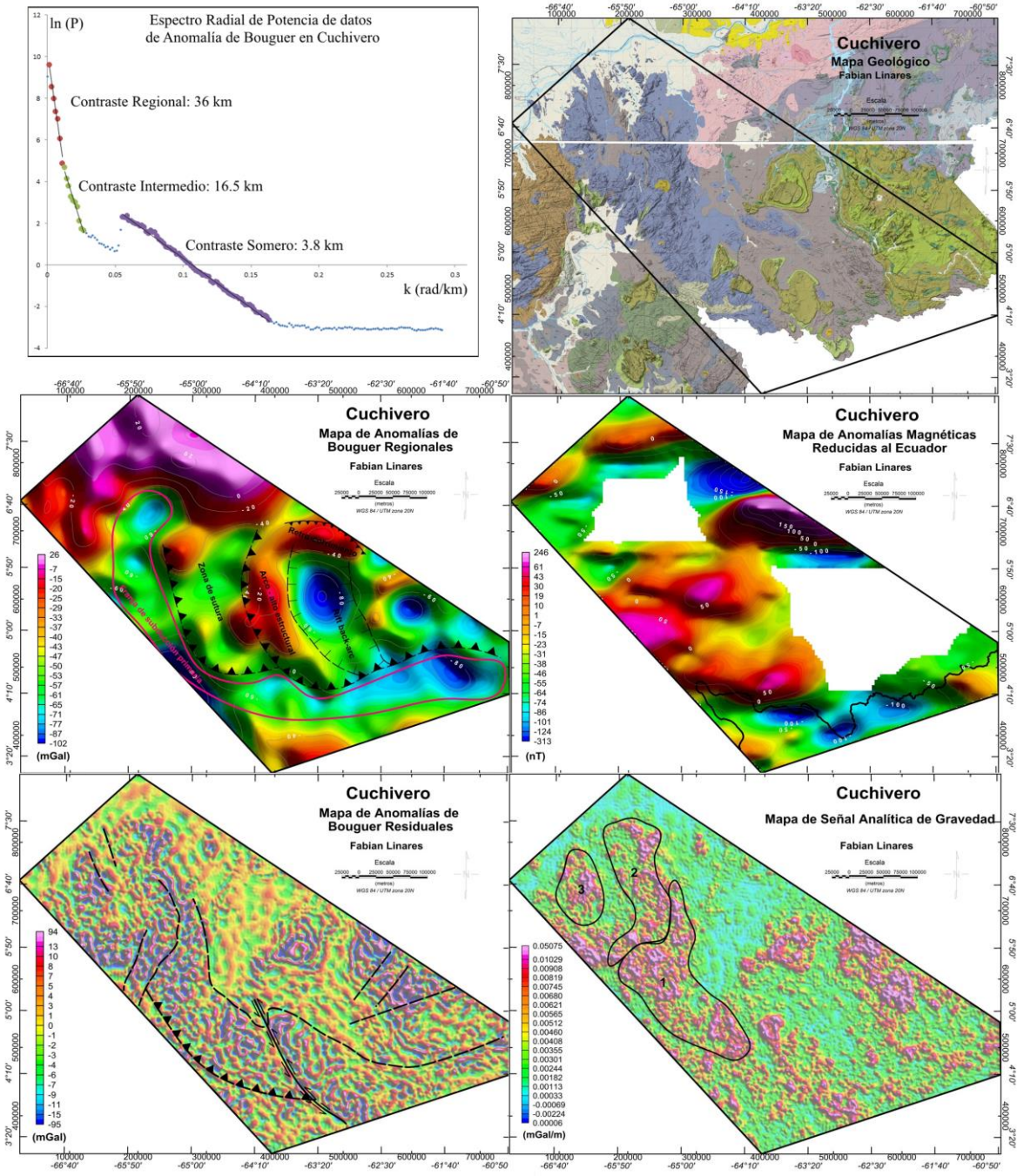


Figura 122. Compilado n°1 para Cuchivero. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: resultados del espectro radial de potencia, mapa geológico, malla de anomalías regionales de Bouguer, mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador magnético, mapa de anomalías residuales de Bouguer, y mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer.

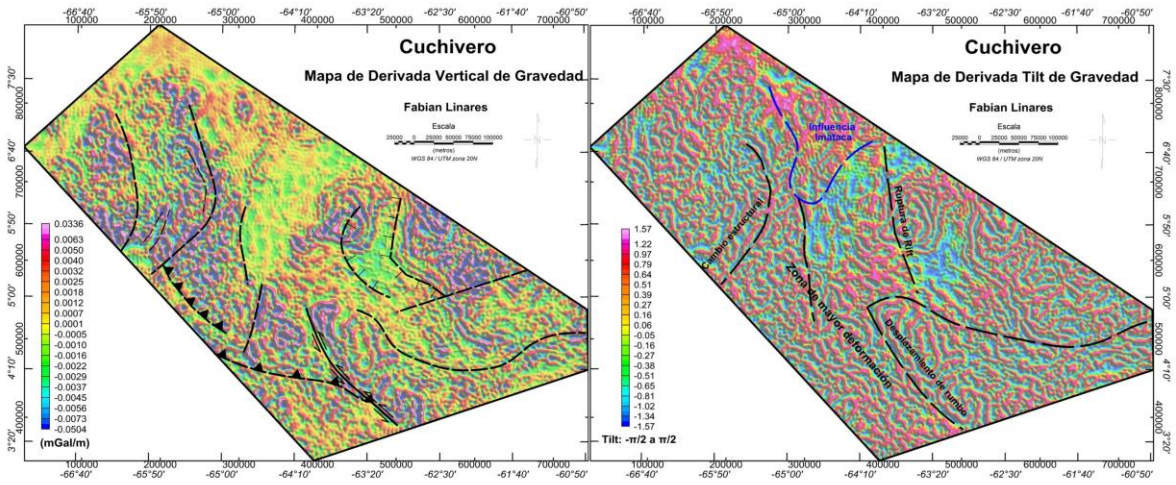


Figura 123. Compilado n°2 para Cuchivero. De izquierda a derecha: mapa de derivada vertical de anomalías de Bouguer, y mapa de derivada tilt de anomalías de Bouguer.

AMAZONAS

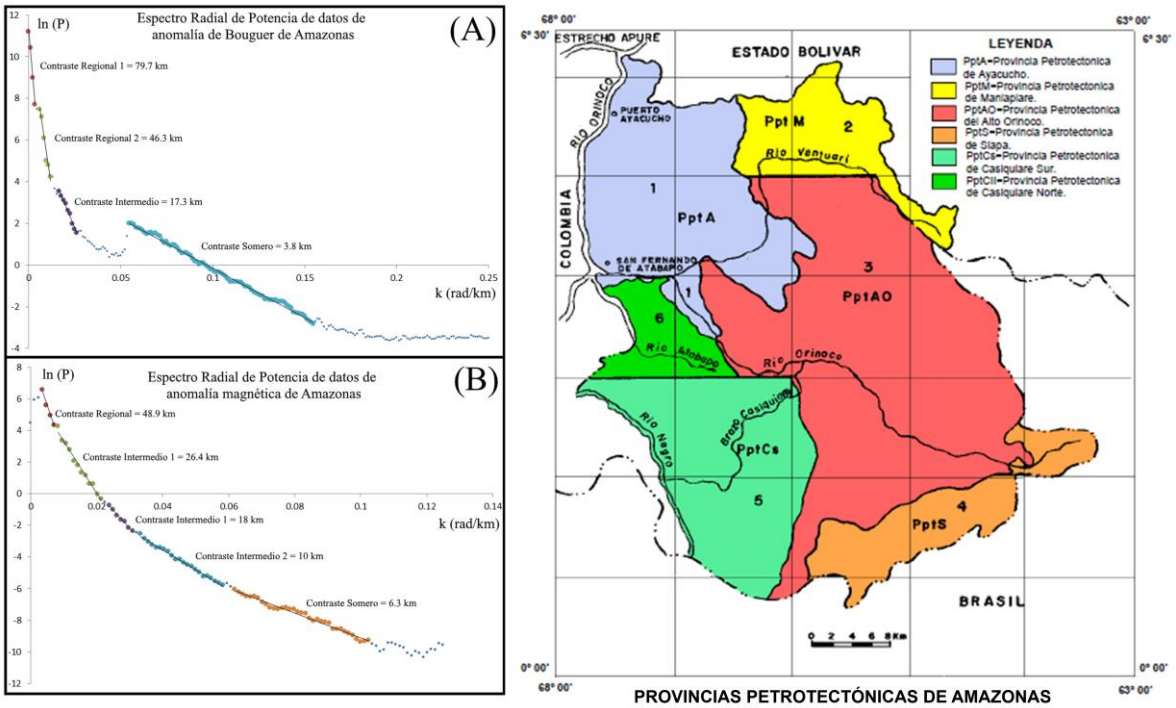


Figura 124. Compilado n°1 para Amazonas. De izquierda a derecha: resultados de los espectros radiales de potencia y división del Estado Amazonas en provincias petrotectónicas.

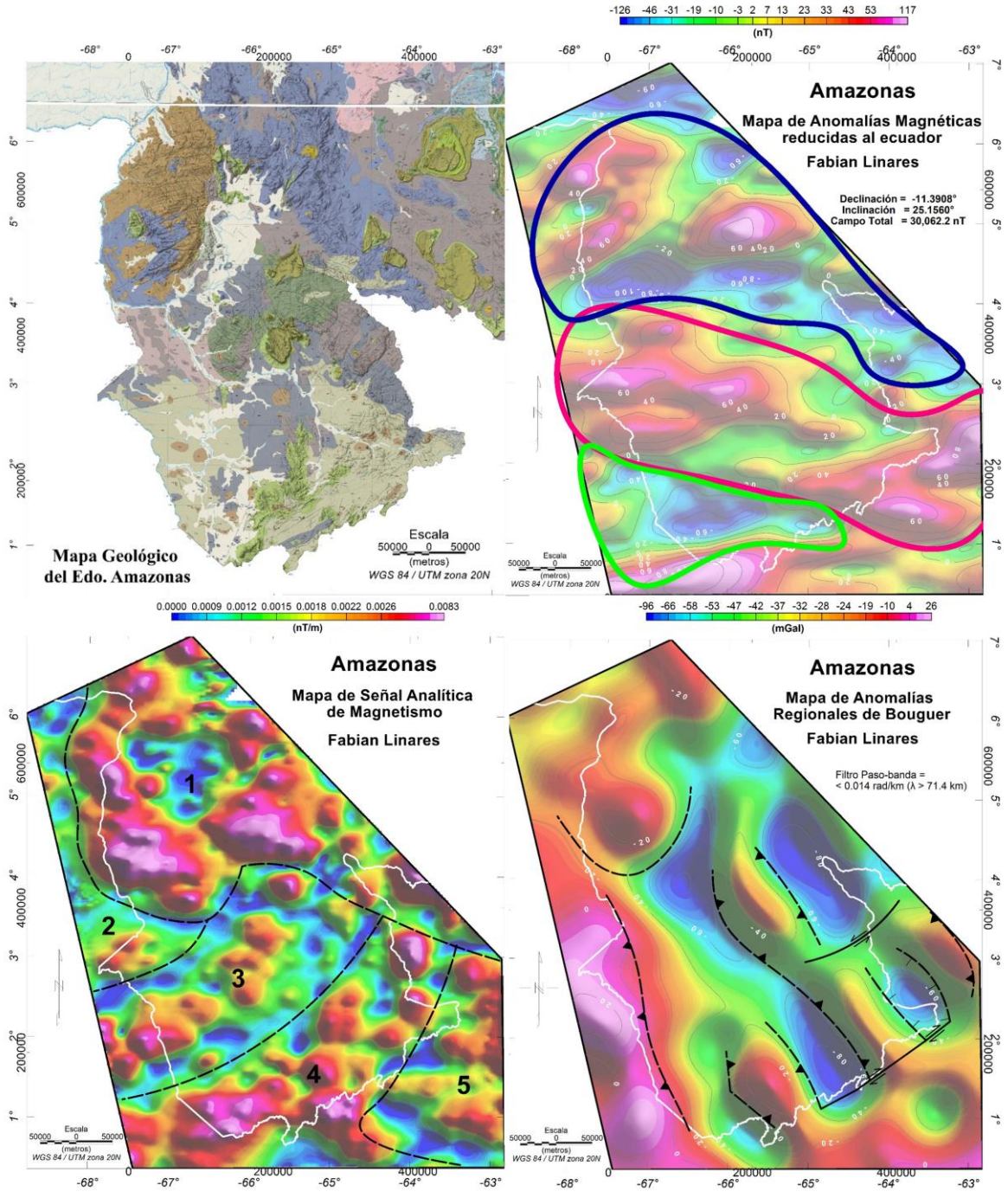


Figura 125. Compilado n°2 para Amazonas. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa geológico, mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador, mapa de señal analítica calculada a partir de anomalías magnéticas, y mapa de anomalías regionales de Bouguer.

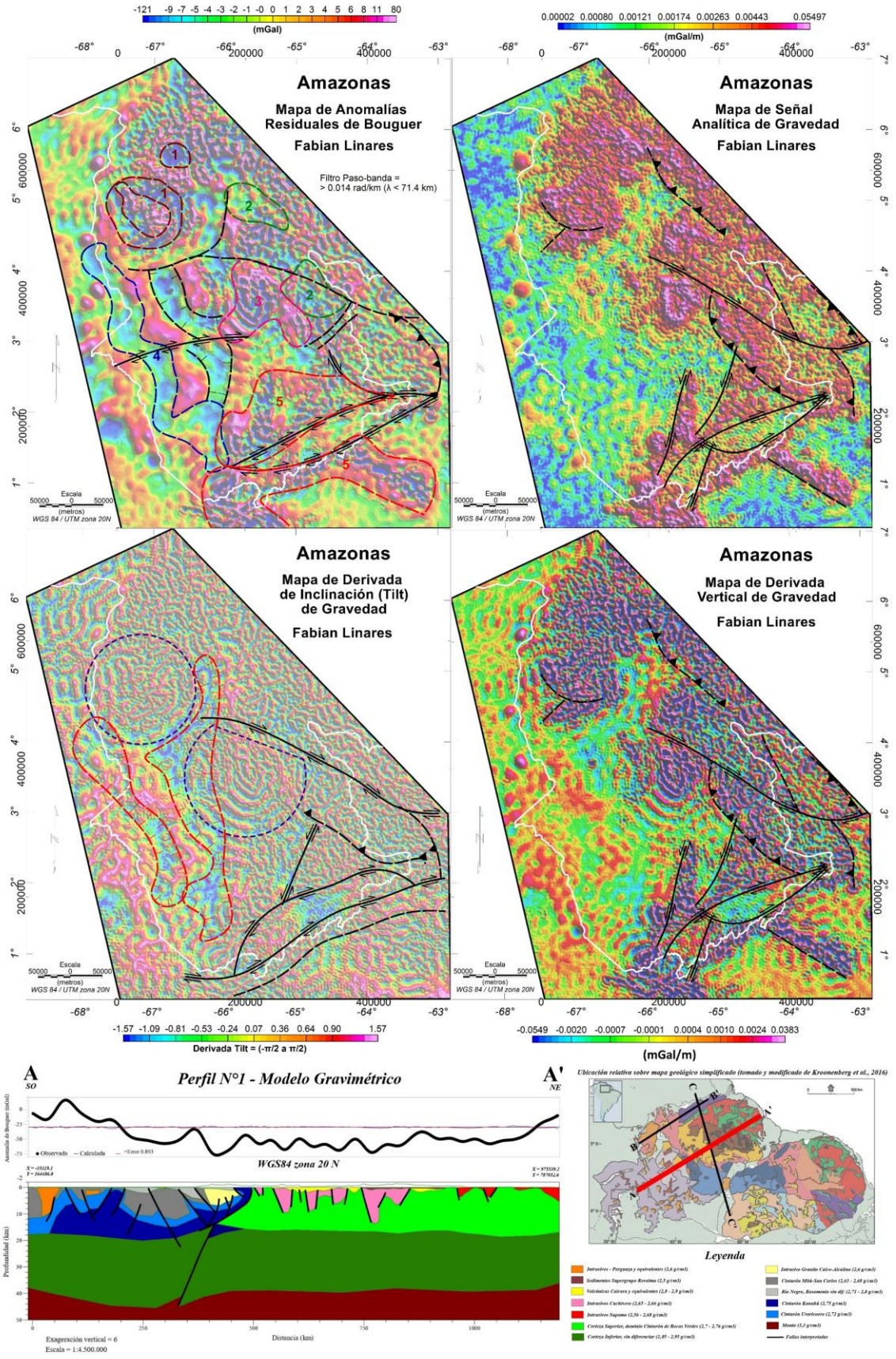

Amazonas
Mapa de Anomalías Residuales de Bouguer
Fabian Linares
Filtro Paso-banda = > 0.014 rad/km (λ < 71.4 km)
-121 -9 -7 -5 -4 -3 -2 -1 -0 0 1 2 3 4 5 6 8 11 80
(mGal)
Amazonas
Mapa de Señal Analítica de Gravedad
Fabian Linares
0.00002 0.00080 0.00121 0.00174 0.00263 0.00443 0.05497
(mGal/m)
Amazonas
Mapa de Derivada de Inclinación (Tilt) de Gravedad
Fabian Linares
-1.57 -1.09 -0.81 -0.53 -0.24 0.07 0.36 0.64 0.90 1.57
Derivada Tilt = (-π/2 a π/2)
Amazonas
Mapa de Derivada Vertical de Gravedad
Fabian Linares
-0.0549 -0.0020 -0.0007 -0.0001 0.0004 0.0010 0.0024 0.0383
(mGal/m)
Escala 50000 0 50000 (metros)
WGS 84 / UTM zona 20N
Perfil N°1 - Modelo Gravimétrico
WGS84 zona 20 N
Observada
Calculada
Profundidad (km)
Distancia (km)
Exageración vertical = 6
Escala = 1:4.500.000
Ubicación relativa sobre mapa geológico simplificado (tomado y modificado de Kroonenberg et al., 2016)
Leyenda

Figura 126. Compilado n°3 para Amazonas. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa de anomalías residuales de Bouguer, mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer, malla de derivada tilt de anomalías de Bouguer, mapa de derivada vertical de anomalías de Bouguer, y modelo geológico/gravimétrico N°1 (A-A').

RORAIMA

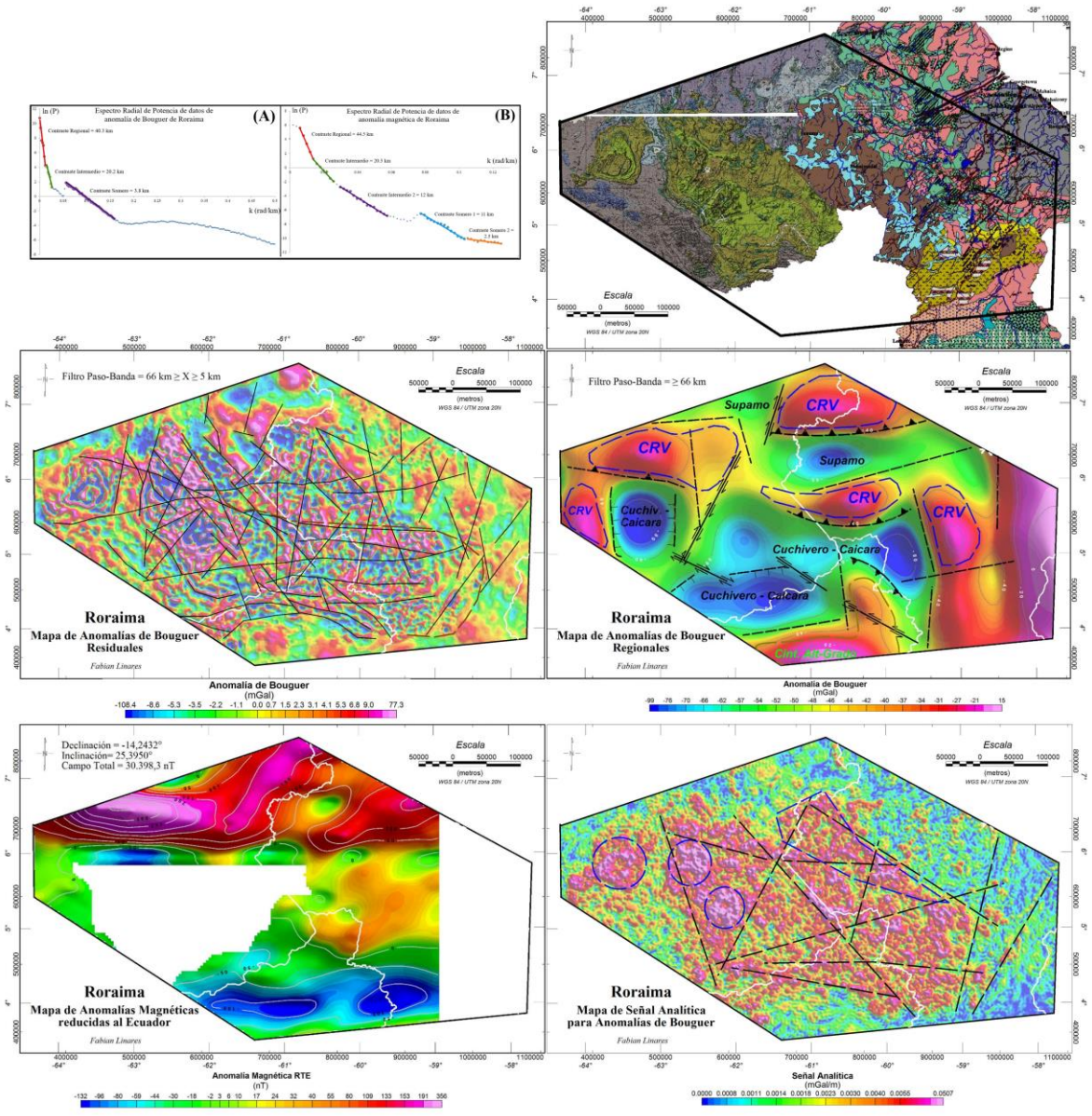


Figura 127. Compilado n°1 para Roraima. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: resultados de los espectros radiales de potencia, mapa geológico integrado de Venezuela y Guyana, mapa de anomalías residuales de Bouguer, mapa de anomalías regionales de

Bouguer, mapa de anomalías magnéticas reducidas al ecuador, y mapa de señal analítica calculado a partir de anomalías de Bouguer.

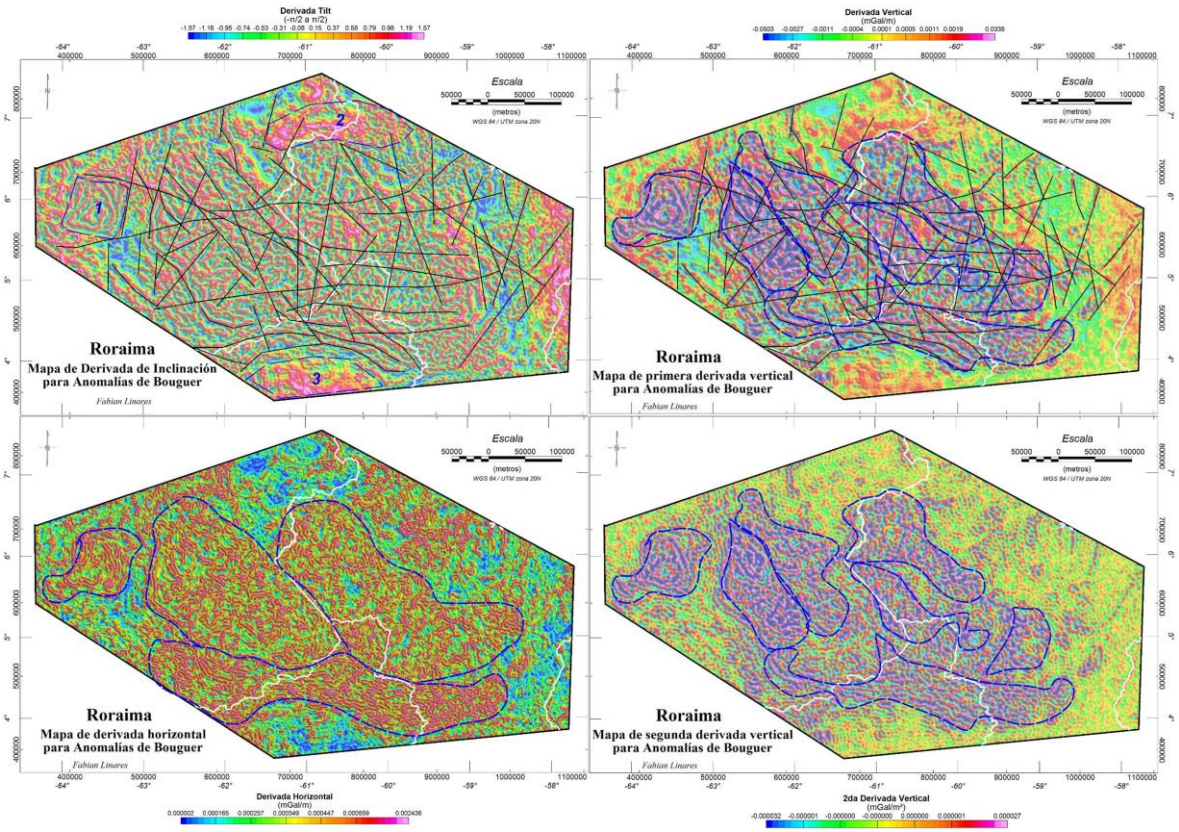


Figura 128. Compilado n°2 para Roraima. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo: mapa de derivada tilt de anomalías de Bouguer, mapa de derivada vertical de anomalías de Bouguer, mapa de derivada horizontal de anomalías de Bouguer, y mapa de segunda derivada vertical de anomalías de Bouguer.

CONCLUSIONES

Imataca es una provincia que representa primitivos micro continentes amalgamados, caracterizados por los datos potenciales en diferentes fajas tectónicas, y formada durante la orogénesis Guriense (3,7 – 3,4 Ga) y Aroensis (2,8 – 2,6 Ga). Las condiciones de formación se establecen en altos gradientes termales, en un contexto de litósfera delgada y boyante. Vestigios de las estructuras primitivas que estuvieron presente durante la formación de la misma se encuentran aún a niveles de corteza superior en su parte más profunda.

En la Provincia de Pastora, principalmente integrada por los cinturones de rocas verdes y granitos de Supamo, se forma en un ambiente oceánico de régimen expansivo a partir del aporte de plumas mantelares. Durante su etapa de formación y posterior cambio tectónico a partir de la inversión del régimen, estructuras de arcos y rift son posibles de diferenciar a partir de los datos interpretados. El intrusivo de Supamo se propone como generado a partir de la combinación de material reciclado por la subducción con posibles aportes de puntos calientes, en un contexto de corteza móvil y margen de subducción migrante. Las tasas de subducción fueron más rápidas, con losas de subducción menos inclinadas a la de hoy día. La plasticidad que este intrusivo representó durante la etapa de sutura con Imataca permitió el reacomodo de los bloques, en un contexto tectónico transpresivo.

No se observaron evidencias que permitan afirmar que los conjuntos de Imataca y Kanukú hubiesen estado unidos y luego separados por el mar de Pastora. Por ende, se determina que Imataca y Kanukú fueron bloques continentales independientes, que por las condiciones generales del planeta pudieron tener orígenes similares, luego acercados mutuamente por la tectónica global durante la inversión del mar de Pastora.

Los granitos de Cuchivero y las volcánicas de Caicara pertenecen a un mismo sistema magmático de cristalización diferencial. Actualmente Caicara es una cubierta de poco espesor, que suprayace parcialmente a Cuchivero y a los CRV, dependiendo de la ubicación. Las estructuras tectónicas preexistentes en los CRV facilitaron el ascenso y

cristalización para Cuchivero, en un régimen tectónico de retro-arco en un contexto general de subducción donde la losa tenía vergencia hacia Pastora. Este margen fue migrando progresivamente hacia el oeste hasta que inicia la colisión con los cinturones móviles de Kanukú, Uraricoera y Mitú-San Carlos. Durante esta etapa de subducción, el conjunto Pastora-Cuchivero se engrosa corticalmente, permitiendo la formación de sistemas de arco en el frente de subducción y rift hacia el interior donde prevalecen extrusivos como Caicara.

El granito de Parguaza se forma en un ambiente anarogénico durante el colapso gravitacional del arco formado por Pastora-Cuchivero. Los resultados no evidencian una cámara magmática única, y por ende, se propone un sistema de varios canales de ascenso posteriores a la inversión de la vergencia de subducción y aborto de la misma, con influencia de posibles puntos calientes. Los canales de ascenso ocurren tanto hacia la sección obducida del conjunto Pastora-Cuchivero como hacia los cinturones que componen a la región Amazonas.

Posteriormente, las alteraciones que sufrían los cinturones Kanukú y Uraricoera permitían su engrosamiento cortical, y que, al aproximarse a la corteza de Imataca-Pastora-Cuchivero, la vergencia de subducción se invierte, correspondiente esta con la última etapa aparente de subducción y migración. La losa abortada hacia Pastora y Cuchivero continúa fundiéndose y permitiendo intrusivos de otras naturalezas, como los de la asociación Avanavero. El cambio de vergencia permite que, hacia Amazonas, importantes flujos magmáticos cristalicen, permitiendo la formación de intrusivos como San Carlos y Río Negro.

Previo a la colisión, debido a la tracción entre los bloques y el comportamiento termal del manto, se generaron sistemas transcurrentes y rotación del conjunto Imataca-Pastora-Cuchivero. Durante la colisión, las fallas transcurrentes permitieron el reacomodo de los bloques junto a cierta plasticidad que podían representar algunas provincias recién cristalizadas como Cuchivero. Sistemas de cabalgamiento y corrimiento, quiebres debido al doblamiento de los cinturones, y otros patrones estructurales se observan en los resultados hacia el suroeste del área en estudio.

Posterior a todo ello, prosigue un proceso de rebote isostático y relajación flexural, que genera nuevas fallas normales y aumentan las tasas de erosión, con algunos intrusivos posteriores debido al recicle de la losa remante hacia el oeste del margen.

La Provincia de Roraima, en general, representan los sedimentos depositados entre 1,8 y 1,4 Ga en los depósitos formados principalmente debido a la tectónica del conjunto Pastora-Cuchivero. Sedimentos fluvio-deltáicos y marinos representan diferentes etapas de las configuraciones de los márgenes e interacción entre los bloques, depositados en ambos flancos del margen de subducción.

RECOMENDACIONES

Esta investigación se elabora bajo un marco de estudio regional para identificar y describir las principales estructuras geológicas que integran el Escudo de Guayana. No obstante, es importante que futuras investigaciones aborden con mayor detalle cuerpos de rocas específicos o aspectos particulares de las estructuras observadas.

La complejidad estructural infrayacente a Roraima, la caracterización de la migración de los márgenes de subducción, la génesis de los diversos intrusivos y extrusivos, la caracterización de las diferentes fajas que integran a Imataca, el estudio de los numerosos sistemas de rift-grabenes y zonas de calor presentes a nivel intracortical, o caracterizar los cuerpos rocosos que conforman al Estado Amazonas, son solo algunos ejemplos de temas de interés científico que requieren de atención y que surgen a partir de esta investigación.

A lo largo de este documento se evidencia la complejidad estructural y composicional de la región, para la cual aún se postulan diversas hipótesis que intentan describir su evolución geológica/tectónica, es decir, aún queda mucho por estudiar y hacer. Este estudio presentó limitaciones inherentes a las herramientas y datos utilizados, pero que, mediante campañas de adquisición geofísica y geológica utilizando otras herramientas, podrían ayudar a resolver la ambigüedad de algunas interpretaciones acá realizadas.

El Escudo es de vital importancia para el desarrollo de Venezuela y los países vecinos, como fuente de recursos minerales estratégicos y para el turismo, y cuya mejor comprensión evolutiva ayudaría a enfocar los esfuerzos de exploración detallada y proyectar una mayor relevancia internacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, O. (2010). The DTU10 Gravity field and Mean sea surface. *Second international symposium of the gravity field of the Earth (IGFS2).* Fairbanks, Alaska.

ANHAEUSSER, C., MASON, R., VILJOEN, M., & VILJOEN, R. (1969). A Reappraisal of Some Aspects of Precambrian Shield Geology. (E. G. Unit, Ed.) *Geological Society of America Bulletin, 80,* 2175-2200.

AROCHA, F. (2016). *Diseño y Adquisición de una Red de Referencia Gravimétrica Nacional en el Centro-Oriente Venezolano.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

ASCANIO, T. (1975). El Complejo de Imataca en los alrededores de Cerro Bolivar, Venezuela. *En Conf.Geol.Interguiana. 10th. BelBrasil. Mem. P*, 181-197.

AUDEMARD, F., COX, J., DART, R., & MACHETTE, M. (2000). Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela. *Programa Internacional de la Litósfera, grupo de trabajo II-2. Escala 1:2.000.000.*

BARRIOS, F., CORDANI, H., & KASAWACHITA, K. (1985). Caracterización Geocronológica del T.F. Amazonas, Venezuela. *En VI Cong. Geol. Venezolano, V3*, 1432-1480.

BLAKELY, R. (1996). *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications.* Cambridge University Press. Retrieved from IBSN 0-521-57547-8

BRAVO, M. (2015). *Adquisición y Procesamiento de datos gravimétricos en un perfil entre Santa Elena de Uairén y Puerto Ordaz en el Estado Bolívar.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

BRICEÑO, H., TAPIA, J., & ESTANGA, Y. (1989). Proterzoic acid Plutonism in the Tapajós Province Amazonian Craton Brazil: petrochemistry and ages. *En: Ing.Geol.Cong. Rio De Janeiro, Brasil, Agosto 2.000*.

COLE, E., & HEESTERMAN, L. (1982-2001). Geology compiled from maps at the scales 1:200.000, 1:500.000 and 1:50.000 by the Guyana Geology and Mines Commission.

CONDIE, K., & SLOAN, R. (1998). *Origin and Evolution of Earth: Principles of Historical Geology*. Ney Yersey, USA: Ed. Prentice Hall.

CORDANI, U., & BRITO, B. (1982). The Geologic Evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. *Revista Brasilera de Geociencias, 12*(1-3), 78-88.

CORDANI, U., & TEXEIRA, W. (2007). Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. *Geological Society of America Memoir, 200*, 297-320.

CORRÊA, J., CORRÊA, J. W., & FUCK, R. (2014). Geophysical structures and tectonic evolution of the southern Guyana shield, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences, 52*, 57-71.

DELOR, C., LAHONDERE, D., EGAL, E., LAFON, J., COCHERIE, A., GUERROT, C., & DE AVELAR, V. (2003). Transamazonian crustal growth and reworking as revealed by the 1:500,000-scale geological map of French Guiana. *Géologie de la France 2003 2-3-4*, 5-57.

DOUGAN, T. (1974). Cordierite gneisses and asocciated lithologies of the Guri Area NW Guayana Shield, Venezuela. *Cont. To Min and Petrol, 46*, 169-188.

FÖRSTE, C., BRUINSMA, S., ABRIKOSOV, O., LEMOINE, J., SCHALLER, T., GÖTZA, H., . . . BIANCALE, R. (2014). EIGEN-6c4 The lastest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2019 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. *5th GOCE User Workshop.* Paris.

GARCÍA, A. (2009). *Mapas de anomalías de gravedad y magnetismo de Venezuela generados a partir de datos satelitales.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

GARZÓN, Y. (2010). *Validación de datos gravimétricos satelitales a partir de un análisis geoestadístico comparativo con datos gravimétricos de adquisición terrestre.* Tesis de Maestría, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

GAUDETTE, H., & OLSZEWSKI, W. (1985). Geochronology of the Basement Rock Amazon Territory, Venezuela and Tectonic Evolution of the Western Guiana Shield. *En: Geol in Mijnbouw, 64*, 131-143.

GHOSH, S. (1977). Geología del Grupo Roraima en Territorio Federal Amazonas. *En: Cong. Geol. Venezolano 5, Caracas, Mem. V1*, 167-193.

GLIKSON, A. (1976). Earliest Precambrian ultramáfic-mafic volcanic rocks: ancian crust or relic terrestrial maria? *Geology, V4*, 201-206.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., AROZENA, J., & PICARD CADILLAT, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas.* Caracas: Foninves.

GOODWIN, A. (1991). *Precambrian Geology: The Dynamic Evolution of the Continental Crust.* Academic Press, London.

HACKLEY, P., URBANI, F., KARLSEN, A., & GARRATY, C. (2006). *Mapa Geológico de Venezuela.* USGS OPEN-FILE REPORT 2006-1109.

HEMANT, K., THEBAULT, E., MANDEA, M., RAVAT, D., & MAUS, S. (2007). Magnetic anomaly map of the world: merging satellite, airborne, marine and ground-based magnetic data sets. *Earth and Planetary Science Letters, 260*, 56-71. doi:10.1016/j.epsl.2007.05.040

HILDENBRAND, T., BRIESACHER, A., FLANAGAN, G., & HINZE, W. (2002). *Rationale and Operational Plan to Upgrade the U. S Gravity Database.* U.S. Geological Survey. Open-File Report 02-463.

HIMABINDU, D., & RAMADASS, G. (2004). Estimation of Crustal Thickness from Power Spectra of Regional Bouguer Gravity: Jadcharla-Vasco Transect. *J. Ind. Geophys. Union, 8*(2), 173-178.

HURLEY, P., DE ALMEIDA, F., MELCHER, G., CORDANI, U., RAND, J., KAWASHITA, K., . . . FAIRBAIRN, H. (1967). Test of continental drift by comparison of radiometric ages. *Science 157*, 495-500.

JAKOSKY, J. (1950). *Exploration Geophysics* (2nd edition ed.). Newport Beach, CA: Trija Publishing Company.

KROONENBERG, S., DE ROEVER, E., FRAGA, L., REIS, N., FARACO, M., LAFON, J., . . . WONG, T. (2016). Paleoproterozoic evolution of the Guiana shield in Suriname: a revised model. *Netherlands J Geosci – Geologie en Mijnbouw, 95*, 491-522.

LI, X., & GÖTZE, H. (2001). Tutorial Ellipsoid, geoid, gravity, geodesy, and geophysics. *Geophysics, 66*(6), 1660-1668. Retrieved from http://www.ceri.memphis.edu/people/smalley/ESCI7355/Li_G_Tut.pdf.

LINARES, F., ARRÁIZ, D., & ORIHUELA, N. (2015). Mapa de anomalías de Bouguer de Venezuela derivado del modelo combinado EIGEN-6C4. *Geociencias Aplicadas Latinoamericanas, 2*. doi:10.3997/2352-8281.20150006

LINCE, F., NACIF, S., MARTINEZ, M., GIMENEZ, M., RUIZ, F., & ALVAREZ, O. (2011). Modelo gravimétrico en la fosa de Gastre, provincia de Chubut, Argentina. *Boletín Geológico y Minero, 122*(3), 299-310. Retrieved from ISSN: 0366-0176

MAUS, S., SAZONOVA, T., HEMANT, K., FAIRHEAD, J., & RAVAT, D. (2007a). National Geophysical Data Center candidate for the World Digital Magnetic Anomaly Map. *Geochem. Geophys. Geosyst., 8*(Q06017). doi:10.1029/2007GC001643

MAUS, S., U., B., BERKENBOSCH, H., BOURNAS, N., BROZENA, J., CHILDERS, V., . . . SALTUS, R. (2009). EMAG2: A 2-arc min resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements. *Journal of Geophhysical Research, 10*(8). doi:DOI: 10.1029/2009GC002471

MENDOZA, V. (1973). Evolución tectónica del Escudo de Guayana (Resumen). *Cong. Latinoamericano de Geol. II, Caracas, Nov. 1973*, 75.

MENDOZA, V. (1974). Geology of the Suapure River Area, NW Guiana Shield, Venezuela. *En: State University of New York, at Binghamton, Ph. Disertation*, 230p.

MENDOZA, V. (1977). Evolución Tectónica del Escudo de Guayana. *Cong. Latinoamericano Geol.Caracas,1.973.MEM Pub.Esp.N 7, V3*, 2237-2270.

MENDOZA, V. (2005). *Geología de Venezuela, Tomo I: Escudo de Guayana, Andes venezolanos y sistema montañoso del Caribe.* Venezuela: Universidad de Oriente.

MENDOZA, V., MÁRQUEZ, H., PETIT, P., & BROJANIGO, A. (2019). Historia geológica del Escudo de Guayana, Venezuela, y sus recursos minerales: Evolución de supercontinentes, tectónica de placas y plumas del manto. *Boletín 43, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*, 1-134.

MENDOZA, V., MORENO, L., BARRIOS, F., RIVAS, D., MARTÍNEZ, J., LIRA, P., . . . & GHOSH, S. (1977). Geología de la parte norte del Territorio Federal Amazonas, Venezuela (informe en progreso). *En: V Cong. Geol. Venezolano, T. 1*, 363-404.

MENÉNDEZ, V. (1994). Cinturones de Rocas verdes del Escudo de Guayana en Venezuela; Revisión Estratigráfica. In I. S. Venezuela. (Ed.). (pp. 123-139). Caracas: Libro de Memorias, Asoc. Venez. del Oro.

MENÉNDEZ, V. D. (1968). Revisión de la estratigrafía de la Provincia Pastora, según el estudio de la Región de Guasipati, Guayana Venezolana. *MMH, Bol. Geol. Caracas B 10, 19*, 309-338.

MORITZ, H. (2000). Geodetic Reference System 1980. *Journal of Geodesy, 74*(1), 128-133. doi:http://doi.org/10.1007/s001900050278

NAYAK, G., AGRAWAL, P., RAMA RAO, C., & PANDEY, O. (2006). Thickness estimation of Deccan Flood Basalt of the Koyna Area, Maharashtra (India) from inversión of aeromagnetic and gravity data and implications for recurring seismic activity. *Current Science, 91*(7), 960-965.

NOMADE, S., CHEN, Y., POUCLET, A., FÉRAUD, G., THÉVENIAUT, H., DAOUD, B., . . . RIGOLLET, C. (2003). The Guiana and West-African Shield

Paleoproterozoic grouping: new paleomagnetic data for French Guiana and Ivory Coast. *Geophysical Journal International, 154*, 677-694.

PAVLIS, N., HOLMES, S., KENYON, S., & FACTOR, J. (2008). An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. *EGU General Assembly 2008.* Viena, Austria. Retrieved from http:// earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008.

PROTHERO, D., & DOTT JR., R. (2009). *Evolution of the Earth.* Eighth ed. McGraw-Hill Science and Engineering.

SANDWELL, D., MÜLLER, r., SMITH, W., GARCÍA, E., & FRANCIS, R. (2014). New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. *Science, 346*(6205), 65-67. doi:10.1126/science.1258213

SCHMITZ, M., CHALBAUD, D., CASTILLO, J., & IZARRA, C. (2002). The crustal structure of the Guayana Shield, Venezuela, from seismic refraction and gravity data. *Tectonophysics, 345*, 103–118.

SIDDER, B., & MENDOZA, V. (1995). Geology of Venezuelan Guayana Shield and its relation to the geology of the entire Guayana Shield. *en Geology and mineral deposits of Venezuelan Guayana Shield: United States Geological Survey, 2062*, B1-B45.

SIDDER, G., BROOKS, W., ESTANGA, Y., NUÑEZ, F., & GARCÍA, A. (1991). Early to Middle Proterozoic supracrustal rocks and mineralization of the southern Guayana Shield, Venezuela. *Geological Survey Circular, 1069*, 69.

TADJOU, J., NOUAYOU, R., KAMGUIA, J., & KANDE, H. (2009). Gravity analysis of the boundary between the Congo craton and the Pan-African belt of Cameroon. *Austrian Journal of Earth Sciences, 102*, 71-79.

TASSANARI, C., BETTENCOURT, J., GERELDES, M., MACAMBRIA, M., & LAFON, J. (2000). The Amazonian Craton. En: Tectonic Evolution of South America. *Geological Congress, Rio de Janeiro, Brasil*, 41-96.

TEXEIRA, W., TASSINARI, C., SZABÓ, G., MONDIM, M., SATO, K., SANTOS, A., & SISO, C. (2000). Sm-Nd constrains on protoligh age of the Archean Imataca Complex, Venezuela. *II South American Simp., on Isotope Geology*, 136-138.

VANDERHAEGHE, O., LEDRU, P., THIÉBLEMONT, D., EGAL, E., COCHERIE, A., TEGYEY, M., & MILÉSI, J. (1998). Contrasting mechanism of crustal growth Geodynamic evolution of the Paleoproterozoic granite-greenstone belts of French Guiana. *Precambrian Research 92*, 165-193.

VOICU, G., BARDOUX, M., & STEVENSON, R. (2001). Lithostratigraphy, geochronology and gold metallogeny in the northern Guiana Shield, South America: a review. *Ore Geological Reviews 18*, 211-236.

YANG, J. H., ZHANG, H., GAO, Z., GUO, L., & XU, W. (2016). Generation of peraluminous granitic magma in a post-collisional seting: A case study from rastern Qilian oron, NE Tibetan Plateau. *Gonw Res. 36*, 28-45.

ANEXOS

NOTA: cuando se observan los resultados en las soluciones de perfil, considere que la escala gráfica horizontal respecto a la vertical se encuentra desproporcionada y por ello, las estructuras y contactos tienden en su mayoría a parecer verticales. Esto es un efecto visual, descartando por supuesto, aquellas estructuras que en efecto se aproximan al plano vertical. Por ende, la interpretación se limita a descripción por bloques, y no por litologías detalladas, ya que habría que trazar y calcular muchos perfiles pequeños e interpretarlos para poder representar un solo perfil de la longitud que acá se presentan.

SOLUCIONES DE PERFIL - PROVINCIA IMATACA

Un total de 18 perfiles fueron calculados a partir de la técnica de señal analítica y deconvolución de Werner para la provincia de Imataca, cuya ubicación de cada uno de ellos se observa en la Figura 129.

Para la caracterización de la provincia en profundidad se trazaron un conjunto de perfiles orientados NO-SE y SO-NE, a los cuales les fue calculada la deconvolución de Werner y se les aplicó simultáneamente la técnica de señal analítica. Estas técnicas aplicadas a datos en perfil permiten establecer las profundidades de las fuentes que general las anomalías, basándose principalmente en los cambios de gradiente gravitatorio. Es por ello que el dato inicial de entrada consiste en la derivada vertical de la anomalía de Bouguer. Los perfiles han sido nombrados por la inicial de la provincia en la primera posición, seguida de la inicial de la palabra “perfil” y el número de perfil. Esto aplica a todos los perfiles de cualquier provincia.

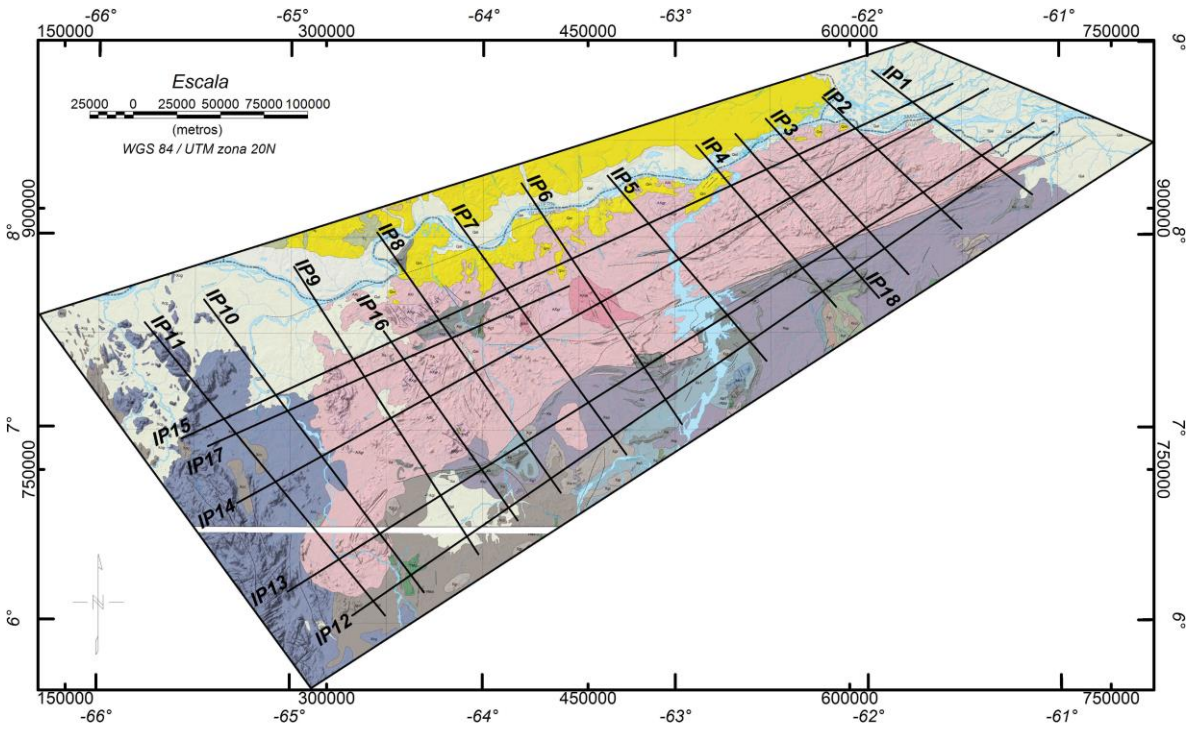


Figura 129. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la provincia de Imataca, sobre el mapa geológico de Hackley *et al*. (2005).

En la Figura 130 se muestra los resultados obtenidos para el perfil IP1 (**I**mataca **P**erfil **1**), sobre el cual se dibujan interpretaciones. La provincia hacia el sector oriental contiene un sistema estructural SO-NE que difiere del resto de las secciones, y este perfil ubicado en la parte más oriental y septentrional de Imataca revela que las estructuras se prolongan hacia el subsuelo del delta del Orinoco. La variabilidad composicional observada entre la falla de Guri y el sistema de El Pao es indicativa que los procesos metamórficos se dieron debido a procesos compresivos y que además estuvo influenciado por intrusiones silíceas. La morfología que resulto posterior a ello durante las etapas de disrupción pudo modificar la disposición/profundidad de la interfase que limita la granulita con los gneises superficiales y la interacción entre las fallas y las intrusiones. Debido al alto contraste inmerso en lo que parece ser una faja tectónica, o al menos, un cuerpo encerrado en dos sistemas estructurales existe la posibilidad que las respuestas estén asociadas a una intrusión, quizás similares a las existentes en la región occidental de Imataca.

Las soluciones de la deconvolución de Werner sugieren que la interfase mencionada se encuentra entre los -3.000 m y -4.000 m de profundidad, al igual que la técnica de señal

analítica Figura 130. En los perfiles posteriores, por ser las soluciones de Werner estadísticamente poco representativas no serán presentadas en las imágenes. Sin embargo, los resultados de esta técnica tanto en gravedad como en magnetismo han sido evaluados y compaginados con los resultados obtenidos mediante señal analítica en datos de gravedad.

En profundidad la falla de Guri representa el límite de sutura con componente transcurrente que le infiere su verticalidad y ligero buzamiento norte, y la falla de El Pao parece ser una falla de leve retro-corrimiento que formaba parte del sistema de transcurrencia.

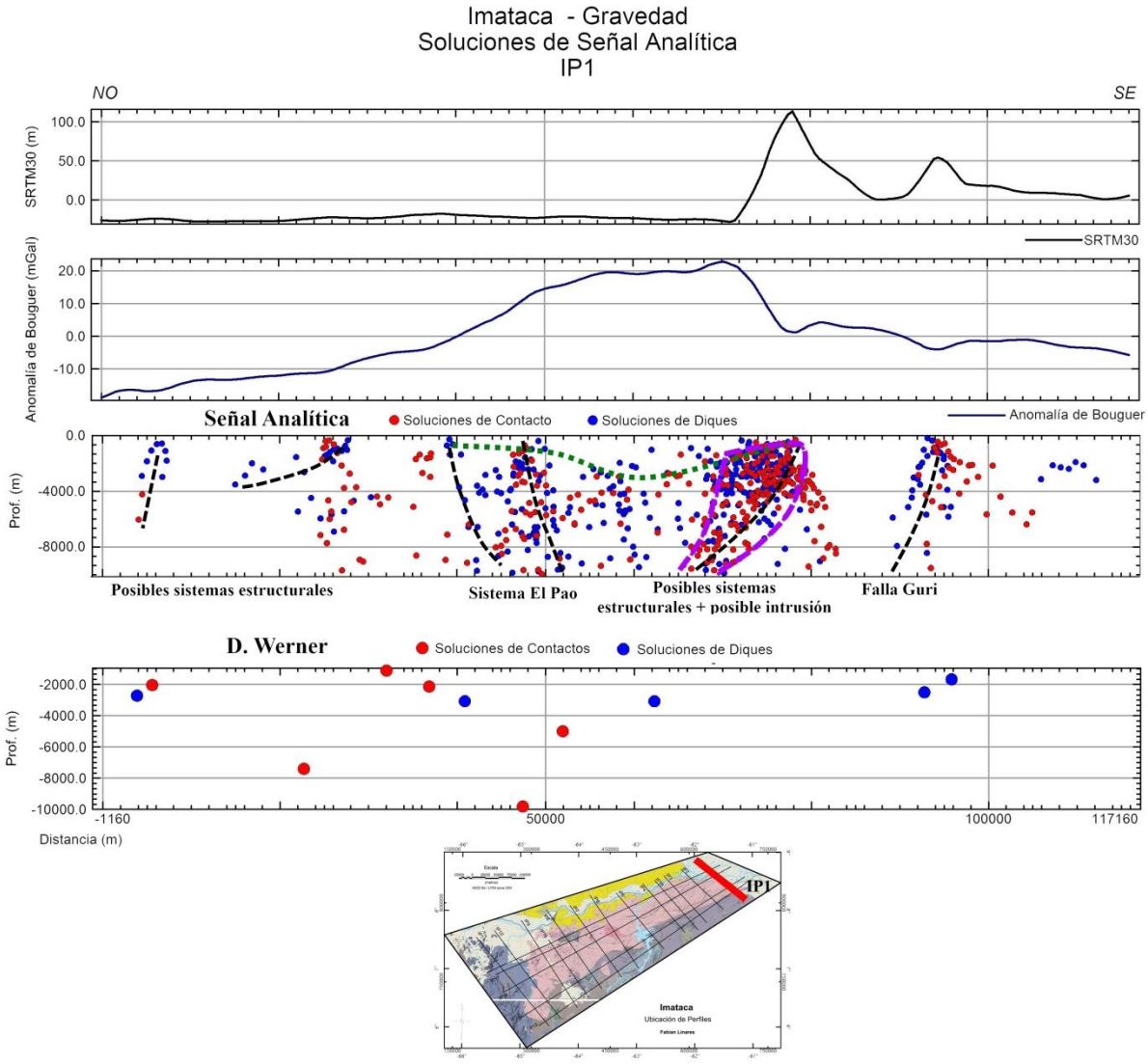


Figura 130. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en perfil IP1. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas moradas: altos

contrastes composicionales (quizás intrusión). Línea punteada verde: interfase de cambio composicional en profundidad.

Al observar la Figura 131 se corrobora la posibilidad de que el sistema El Pao presente buzamiento hacia el sur, mientras la falla de Guri hacia el norte. En este perfil las soluciones de la intrusión son de mayor dimensión y al comparar su ubicación respecto al perfil anterior (IP1 comparado con IP2), el sistema intrusivo estaría orientado semi-paralelo a la falla de Guri, justo como el relieve topográfico.

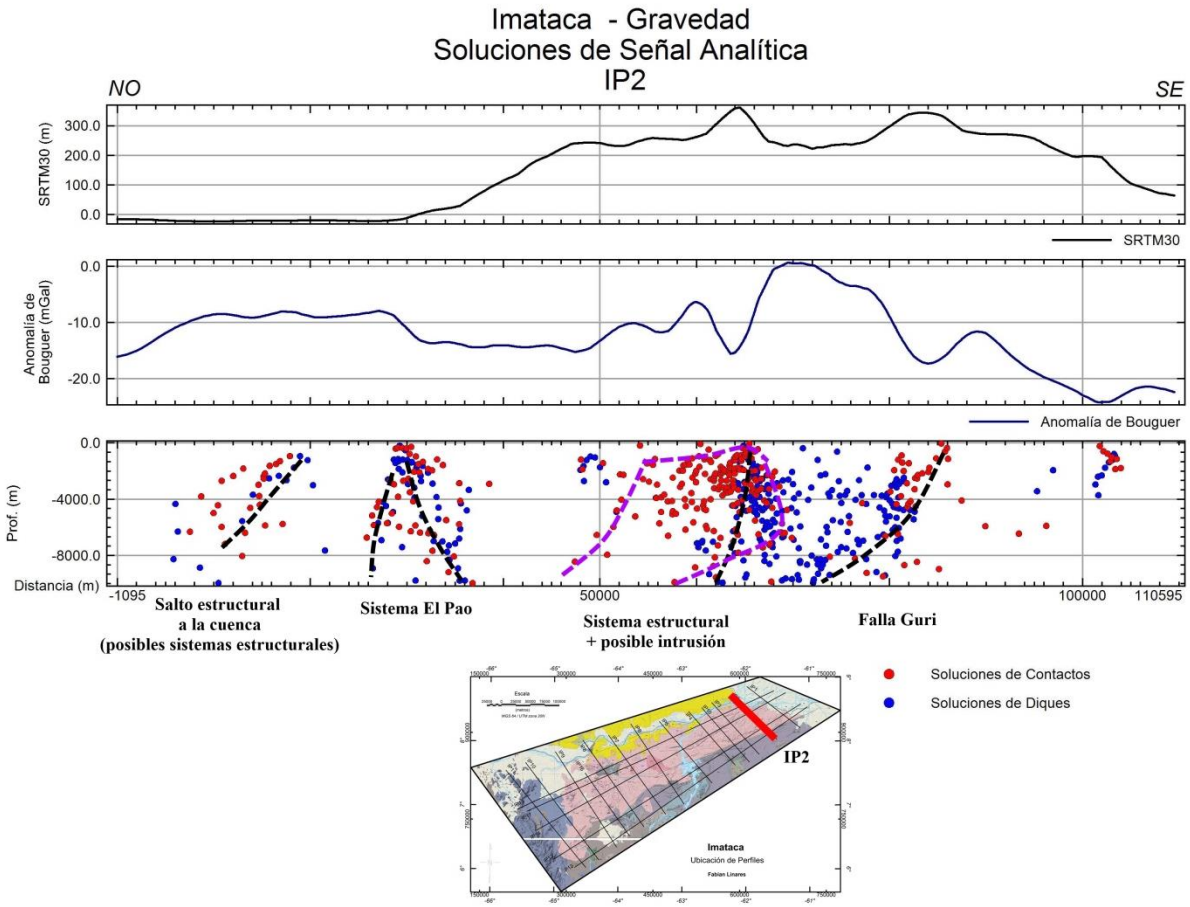


Figura 131. Soluciones de señal analítica en IP2. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas moradas: altos contrastes composicionales (quizás intrusión).

El salto estructural entre Imataca y la cuenca Oriental, que ha sido inferido anteriormente como escalonado, se observa que estas fallas son más verticales y pronunciadas hacia el delta. En el NO de IP2, se observa que el contraste entre los sedimentos y el basamento es muy somero, menor a -800 m de profundidad, pero que existe otro contraste en el rango de

los -4.000 m de profundidad, que sugiere la profundización de la interfase granulita-gneis. Morfología que concuerda a su vez con lo observado en los resultados de deconvolución de Euler. La posible intrusión observada parece ser previa a los episodios tectónicos entre Imataca y Pastora.

Considerando las soluciones de la Figura 132, allí se representa lo complicado del sistema estructural del oriente de Imataca. A pesar de las estructuras seguir lineamientos semi-paralelos a la falla de Guri, existen numerosos sistemas internos involucrados con contactos intrusivos. Hacia el norte del perfil, por extensión, no se alcanza a visualizar el salto estructural presente en el límite superficial de Imataca hacia la cuenca. Lo que se aprecia es la presencia de sistemas estructurales que sugieren una combinación de períodos transpresivos y otros disruptivos transtensionales.

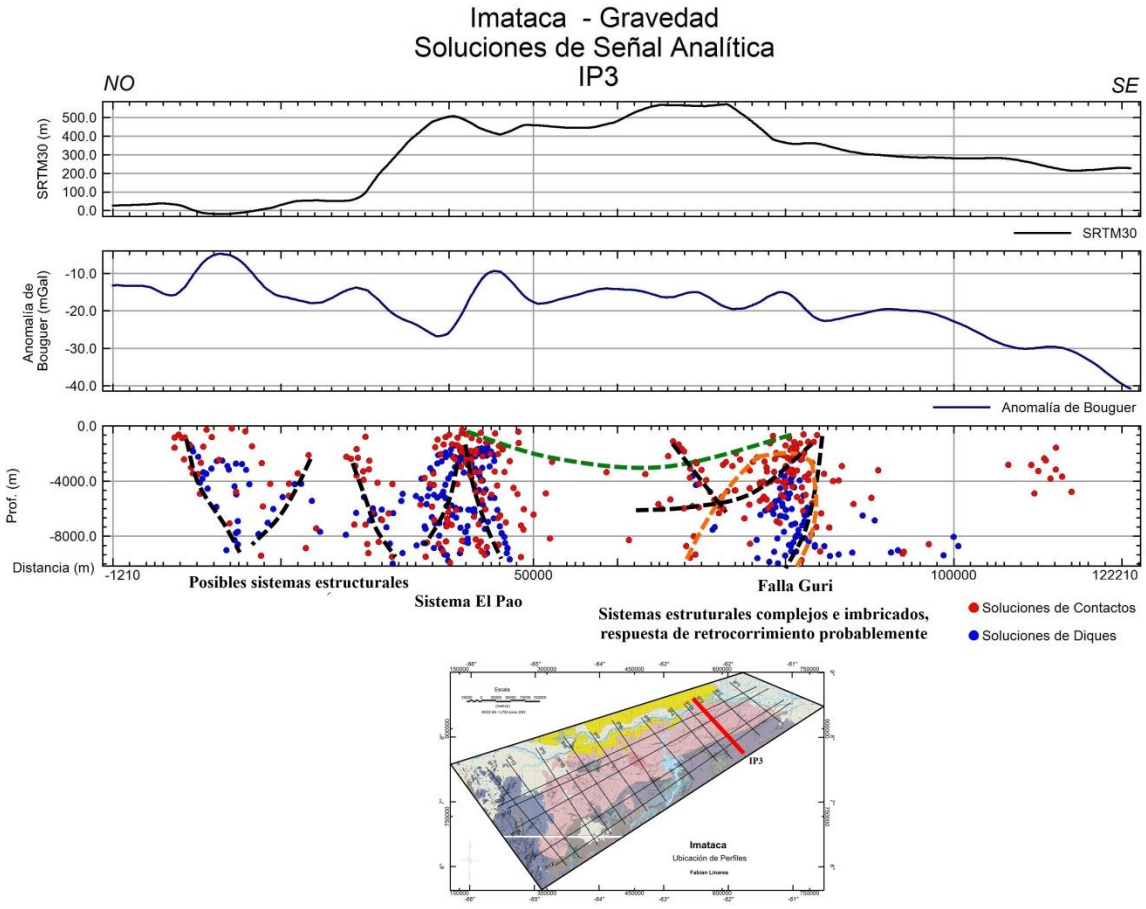


Figura 132. Soluciones de señal analítica en IP3. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Línea punteada verde: interfase de cambio composicional en profundidad. Línea punteada naranja: alto contraste composicional (quizás intrusión).

La falla El Pao marca cierta frontera estructural y composicional, ya que entre El Pao y Guri no se observan mayores contrastes de densidad. El sistema intrusivo observado en los perfiles anteriores parece en este perfil colindar directamente con la falla de Guri, y la falla presente en la intrusión cambia de buzamiento. Es probable que este sistema estructural siga un lineamiento similar al relieve topográfico, y que el mismo corresponde con la frontera de amalgama entre dos bloques. Quizás, a su vez, lo interpretado como una intrusión sea un bloque de composición diferente aglutinado. La sección más gruesa de esta amalgama se encuentra en el perfil IP2, y reduce su tamaño considerablemente al cortar con Guri en IP3.

Varias soluciones de contacto confirman la ubicación del cambio composicional vertical a 3,5 km, alcanzando sobre El Pao y Guri aproximadamente 1 km de profundidad. Más hacia el norte de El Pao, esta interfase vuelve a una profundidad de unos 3,5 km hasta la frontera con la cuenca Oriental, donde el salto estructural la lleva a unos 4-4,5 km de profundidad concordando con los resultados de Euler.

La Figura 133 (IP18) consiste en un perfil intermedio entre IP3 e IP4 debido a que era necesario registrar los cambios composicionales y estructurales en el sector. Al NO en el perfil se observa la respuesta asociada a una falla semi-circular mapeada en superficie que indica el inicio aproximado de la influencia de las fajas tectónicas con disposición NO-SE. No necesariamente con ello se pretende sugerir que la misma representa el límite de alguna de estas fajas, ya que como se mencionó anteriormente, la zona que representa esta influencia es la región central de Imataca.

En el mismo se observa además que entre El Pao y Guri existen sistemas estructurales condensados, debido a que, si se prolongan ambas fallas, las mismas deberían cruzarse en la región central de Imataca. Esto no ocurre quizás debido a que la falla de Guri presenta un salto y relevo hacia el centro de Imataca, cambiando ligeramente su orientación, factor atribuido al sector de pivote. La morfología que presenta la curva de elevación de terreno sugiere que el sector entre ambas fallas se encuentra sobrecorrido, y que el límite del sistema es marcado por la falla de Guri, similar a una flor positiva, la cinemática transcurrente de los sistemas es favorable a la formación de esta estructura, probablemente formada luego de un período disruptivo que inició luego del amalgamiento de las

provincias. Hacia el SE del perfil, comienza a observarse rasgos importantes en la provincia Pastora, en el Grupo Supamo. Estas soluciones se correlacionan a los contrastes composicionales someros ocasionados por el metamorfismo que formó al esquisto andesítico anfibolítico, influenciado por una estructura que influye en su disposición. La mayoría de las fallas inferidas en el perfil se corresponden con las vistas en superficie.

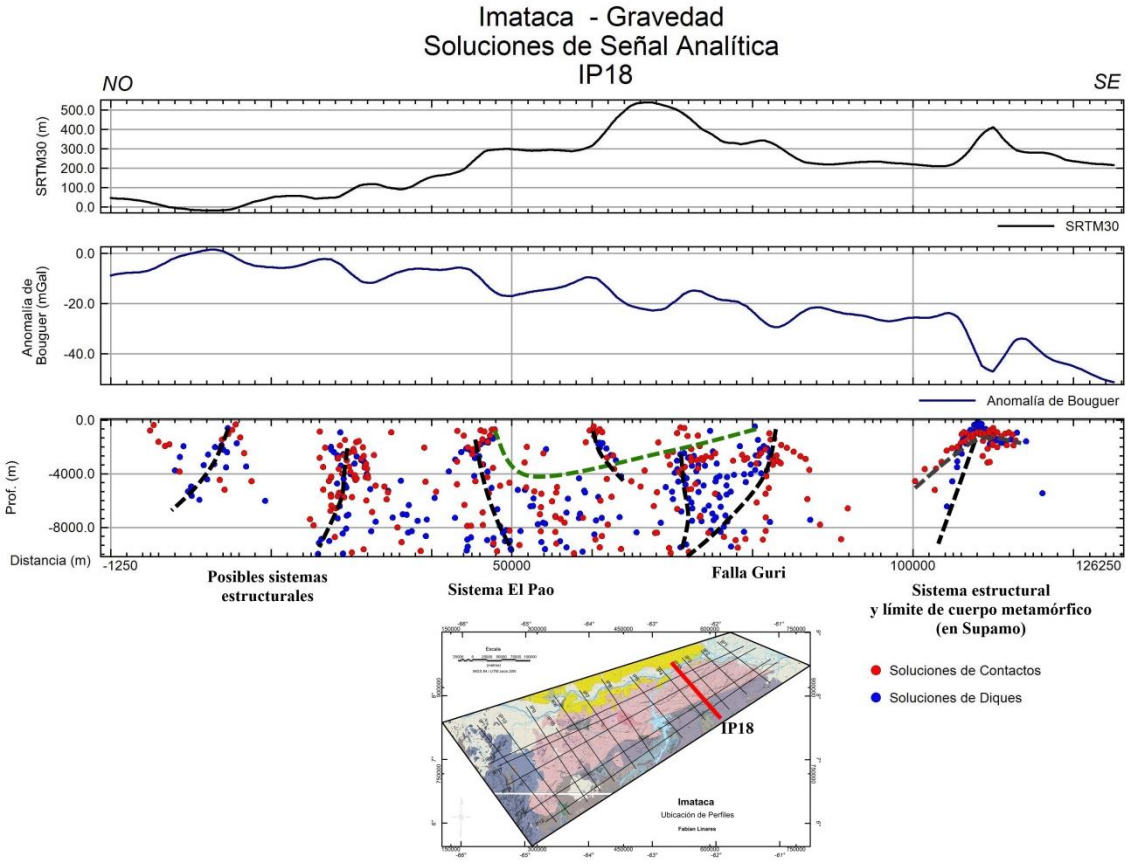


Figura 133. Soluciones de señal analítica en IP18. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas moradas: altos contrastes composicionales (quizás intrusión). Línea punteada verde: interfase de cambio composicional en profundidad.

El perfil IP4 (Figura 134) muestra que el relieve junto a la inflexión de la curva de anomalías de Bouguer sobre la falla Guri marca el límite de un sistema transpresivo, en este caso, donde esta falla permitió además la intrusión de diabasa observada en superficie. El perfil al comprender una extensión importante hacia Supamo comienza a indicar la influencia del sistema general en esta provincia, ya que hacia el SE es observada una especie de cuña, resultante probablemente de la compresión (características a discutir en el próximo capítulo). El contacto dibujado entre los esquistos y la Fm. Yuruari probablemente

no presente tal extensión en profundidad en la realidad, pero si existe un cambio litológico en la misma posición (quizás estructural) que sí se extiende.

Como se ha presenciado en todos los perfiles vistos hasta el momento, la falla El Pao parece consistir en un sistema de fallas que a su vez puede fungir como frontera composicional, ya que las soluciones suelen presentar mucha dispersión. Hacia el NO surgen un conjunto de soluciones que sugieren cambio de composición. Si se correlaciona esta respuesta con lo observado en el mapa geológico, es probable que represente la extensión hacia el noreste en subsuelo del conjunto de intrusiones silíceas presente un poco al suroeste de esta ubicación.

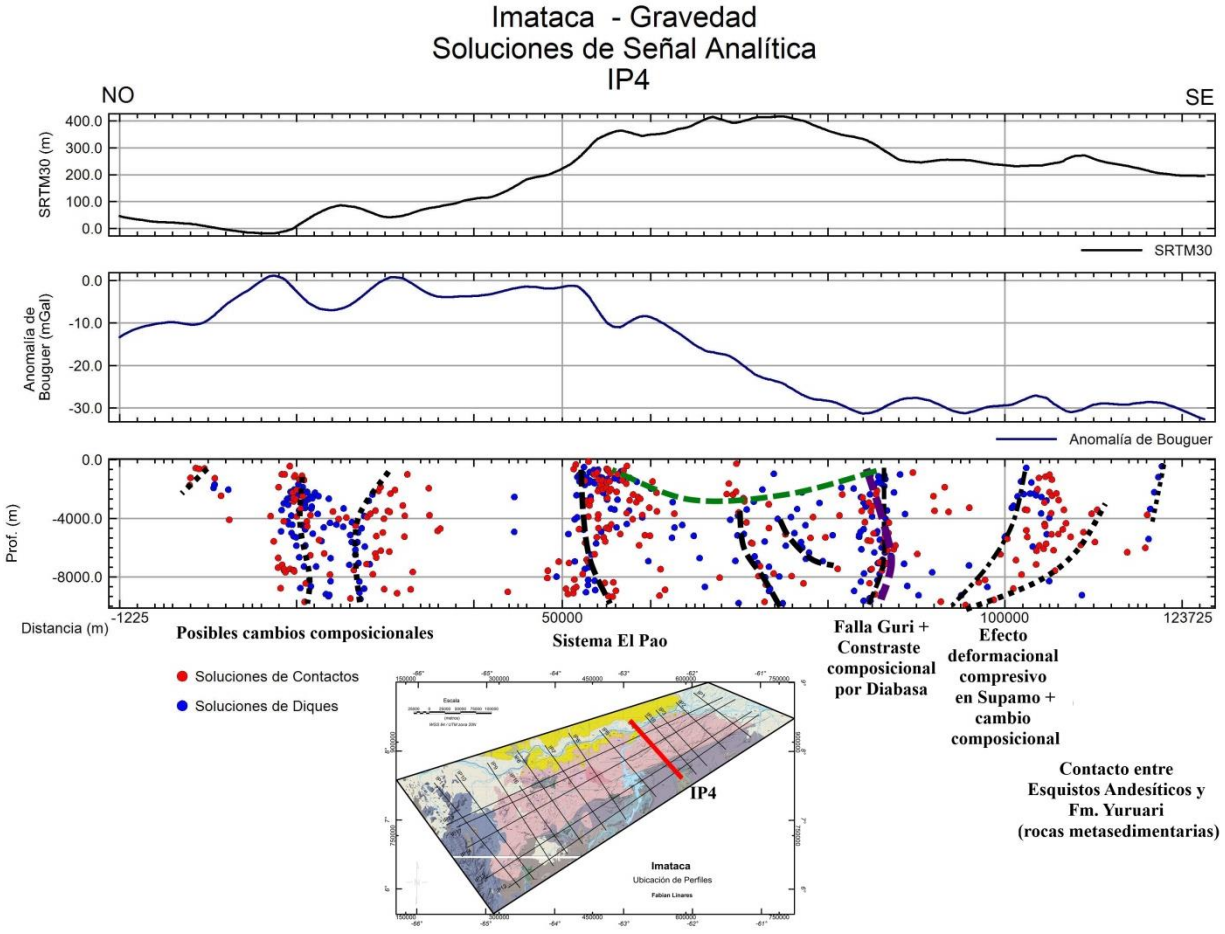


Figura 134. Soluciones de señal analítica en IP4. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Línea punteada verde: interfase inferida de cambio composicional. Línea de guiones morada: posible disposición de diabasa.

Para la Figura 135 los resultados revelan el inicio de la influencia tectónica de las fajas tectónicas, donde se observa que todas las estructuras (al menos las reconocidas en el perfil) buzan hacia el N-NE, con una curvatura que infiere el carácter compresivo. Alrededor de la posición de distancia 100.000 m se encuentra que la falla de Guri presenta un relevo o salto lateral hacia el sur. El conjunto de estructuras ubicadas en la provincia de Pastora cerca de la sutura con Imataca continúan con el patrón estructural de la falla de Guri, al menos en las zonas más inmediatas. La transición hacia la cuenca es marcada de igual manera con un salto vertical de Imataca.

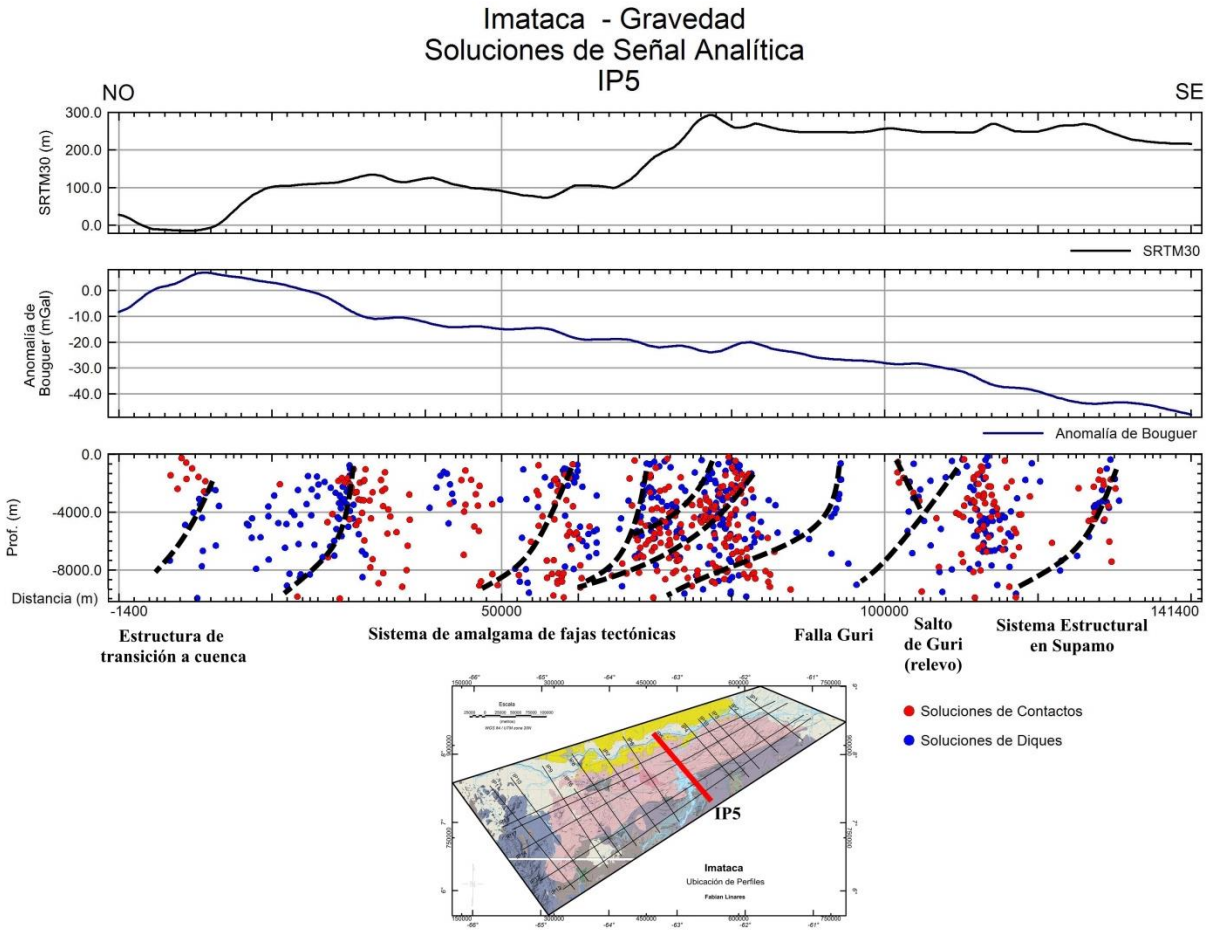


Figura 135. Soluciones de señal analítica en IP5. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno.

El perfil IP6 (Figura 136) muestra una gran variedad composicional atribuible principalmente a las diferencias composicionales que puedan existir entre las diferentes fajas amalgamadas. Hacia el norte del perfil se observa el mismo patrón de transición a la

cuenca. Posteriormente hacia el sur, el corrimiento entre dos diferentes fajas es muestreado 3 veces consecutivas debido a la curvatura que el mismo dispone, reportando menor buzamiento hacia el sur.

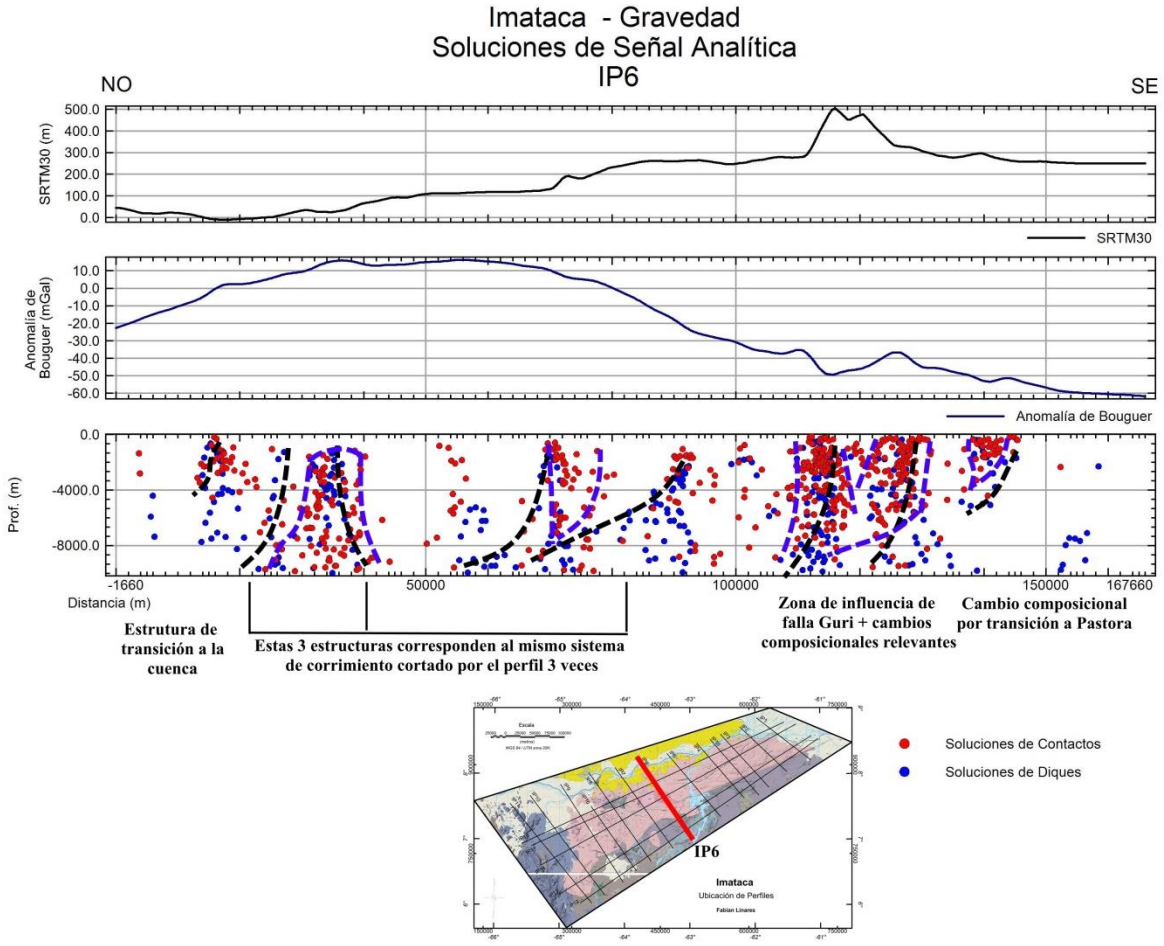


Figura 136. Soluciones de señal analítica en IP6. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

En rasgos generales, se pueden cuantificar 2 fajas tectónicas en el perfil. La primera de ellas comprende la estructura mencionada donde se observan algunos cambios composicionales en la zona donde en superficie afloran las migmatitas, siendo la misma representada por una anomalía de Bouguer de elevada magnitud relativa al contorno. La segunda observada se encuentra infrayacente a la primera, y debería aflorar entre las distancias 90.000 m y 130.000 m del perfil. Esta faja se encuentra caracterizada por bruscos cambios de composición, probablemente correspondan con intrusiones metamorfizadas y

falladas. Esta zona representa una localidad de alta complejidad, ya que es donde ocurre el pivote de Imataca o la zona de bisagra, la falla de Guri presenta desplazamiento lateral, las fajas tectónicas comprenden corrimientos asintóticos hacia la prolongación de la falla de Guri original y a su vez se encuentran intrusionadas, y el contacto con Supamo caracterizado por un conjunto de litologías variables metamorfizadas con posible influencia de sistemas intrusivos.

Al ser esta la zona de pivote y de cambios de patrones estructurales, se debe mencionar que lo visto hasta ahora con las soluciones de señal analítica y las interpretaciones hechas en planta, sugiere que en lo profundo de Pastora, podrían haber vestigios de Imataca quizás a un nivel de profundidad correspondiente a corteza inferior, ya que los sistemas estructurales de las fajas (antiguos micro-continentes) presentan prolongación hacia Pastora, cortados y desplazados por el deslizamiento de la falla de Guri. Esta falla a su vez presenta mayor componente de rumbo que de compresión. Los efectos de la compresión son evidenciados hacia Imataca por los patrones de relieve, donde las rocas más resistentes a la intemperie presentaron menores tazas de erosión, diferencia que indica el por qué Supamo no presenta estos mismos patrones de relieve en la zona de sutura. Al mismo tiempo que las fajas tectónicas se amalgamaban, el material que subducía era devuelto a la siguiente faja tectónica con intrusiones silíceas cuando eran rocas continentales y máficas cuando eran las rocas que separaban a los micro-continentes de afinidad probablemente oceánica.

En IP7 (Figura 137) es posible discernir (al igual que en los perfiles anteriores) que el límite entre las provincias Imataca y Pastora se encuentra marcado por un cambio de anomalía regional que ronda la magnitud de 40 mGal, siendo la zona de inflexión la ubicación de la falla de Guri (o su prolongación). Hacia el NO se observa que los cambios de litología presentes en superficie se prolongan en profundidad. El primero de estos se encuentra dominado por sistemas estructurales que bien parecen condicionar la dirección de intrusión. Posteriormente se aprecia un sistema de mayor envergadura donde se sugiere a través de las soluciones que representa un sistema intrusivo relativamente homogéneo, ya que en su interior no se observan contrastes de composición. Sin embargo, en la frontera SE de esta intrusión los cambios de composición son evidentes, sugiriendo un área de alteración metamórfica junto a sistemas de amalgamamiento que coloca en contacto los

antiguos micro-continentes. Hacia el sistema de Guri, existe una morfología que sugiere el mismo sistema de acoplamiento, donde un micro-continente sobre-corre a otro cuyo límite es la prolongación de la falla de Guri. Los patrones presentes hacia Pastora siguen la disposición estructural de Imataca, quizás por influencia profunda de las estructuras o por los resultados de la transpresión entre ambas provincias.

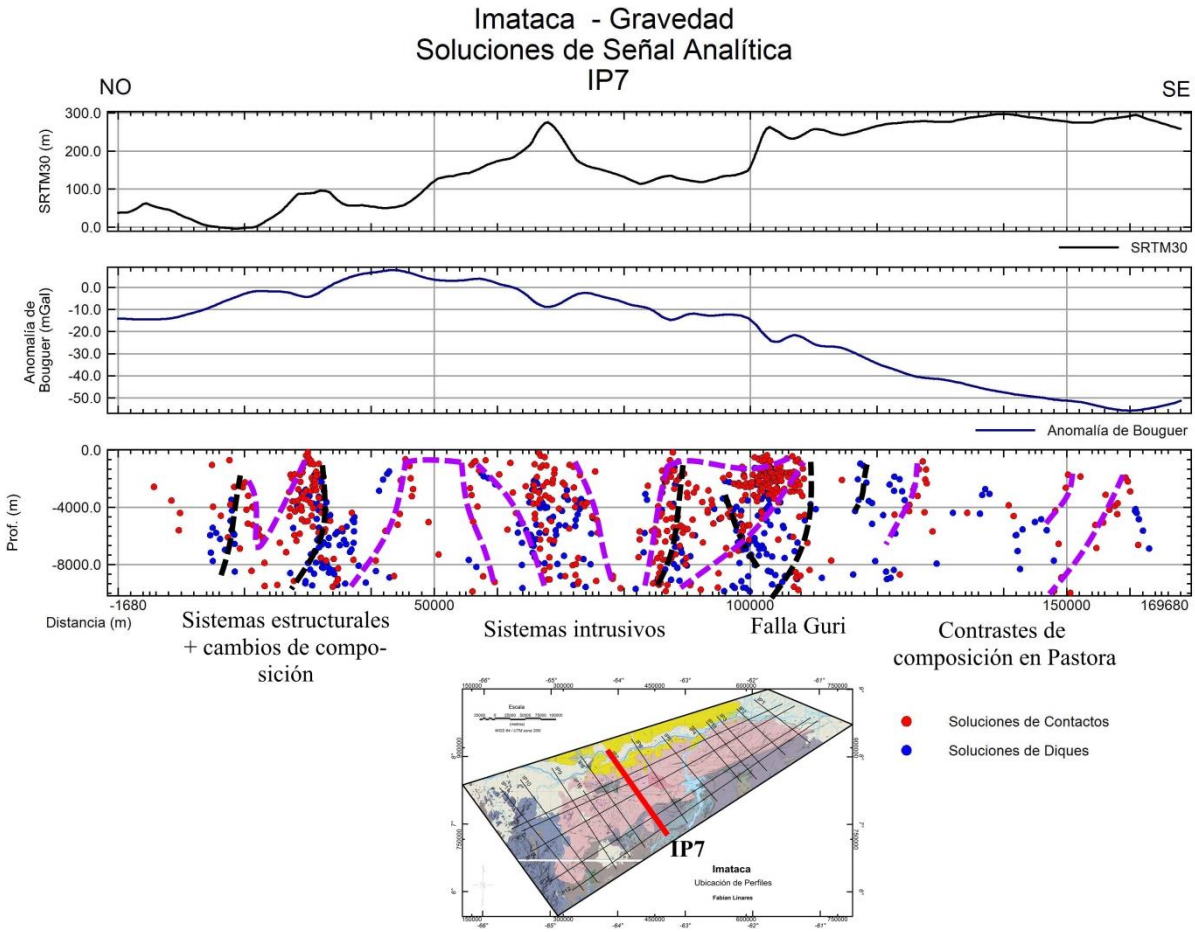


Figura 137. Soluciones de señal analítica en IP7. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

Es de destacar que donde ocurre el corrimiento (delimitado por la línea morada cerca a la falla de Guri, que indica un cambio composicional importante) es justo donde se encuentra una faja tectónica corrida sobre otra litología.

Al continuar hacia el SO de Imataca, el perfil IP8 (Figura 138) es bastante ilustrativo respecto al conjunto de fajas tectónicas inferidas a partir de mapas de gravedad.

Inicialmente en el NO de la figura se presenta el contraste de composición que resulta de litologías metamórficas (esquisto andesítico-anfibolítico) en el tope de lo que parece ser un cuerpo intrusivo de pequeña dimensión no asociado a estructura tectónica aparente. Hacia la ubicación 50 km en el perfil se aprecia cierta verticalidad de los patrones, esto ocurre debido a la apreciación de acuerdo a la disposición espacial del perfil, donde las estructuras se cortan sub-paralelamente, en vez de perpendicularmente. Estas estructuras corresponden con una zona mapeada en superficie con una gran variedad de litologías y afectadas por tectonismo. Es donde se reporta la presencia de metagabros del CRV, cuarzo-monzonitas, partes del Complejo Supamo y esquistos andesíticos-anfibolíticos. Al comparar la geología de superficie con estos resultados se aprecia que existen al menos 2 sistemas intrusivos con posible diferencia temporal influidos por sistemas tectónicos. El primero justo en la ubicación 50 km del perfil, que se correlaciona a intrusiones silíceas, con variación litológica en la periferia de contacto; la segunda cercana a los 70 km del perfil, que contiene a las cuarzo-monzonitas y esquistos hacia el tope rodeados de pequeños cuerpos del Complejo Supamo. Lo más probable es que ambos sistemas provienen de una misma fuente de calor (debido a su relativa cercanía), que posteriormente fueron fallados, dando como resultado que, hacia el SO del perfil, a 5 km y 20 km de estos afloramientos se encuentran pequeños cuerpos dispersos desplazados y cortados por sistemas de fallas. Debido a que las intrusiones no son cuerpos totalmente regulares (ni geométrica ni composicionalmente hablando), es probable que este último patrón composicional haya sido erosionado de la primera intrusión mencionada, que pudo haber sido a su vez la que llegó más cerca a paleo-superficie. Esto también se infiere porque la primera en profundidad parece ser más homogénea que la segunda. También se tiene que tomar en cuenta que es posible que la influencia tectónica haya sido mayor en la segunda que en la primera, ya que la segunda presenta patrones estructurales más marcados que la primera.

Debido a que las litologías que afloran se asocian más al Proterozoico temprano que al Arqueozoico, es probable que las intrusiones silíceas ocurrieron primero y que luego por tectónica de las fajas sufrieran metamorfismo y flujos de calor más recientes. Como se encuentra la influencia de los CRV y Supamo en esta zona, también sugiere que cuando Imataca entra en contacto con Pastora, aún hacia occidente, Imataca no estaba totalmente amalgamada. Esto concuerda con la hipótesis propuesta anteriormente que la colisión entre

los microcontinentes proviene desde el NE actual, y que los primeros en moverse fueron modificando la cinemática de los otros ubicados en el SO. La falla de Guri inicia su tectónica relativa al NE actual, y a medida que las subducciones se fueron suturando, esta falla se fue prolongando contiguamente hacia el SO. Se habla en este apartado de posiciones geográficas relativas a la actual debido a que no se conoce la antigua disposición y ubicación exacta de estos microcontinentes, y por ende solo queda referirse a ubicaciones espaciales relativas.

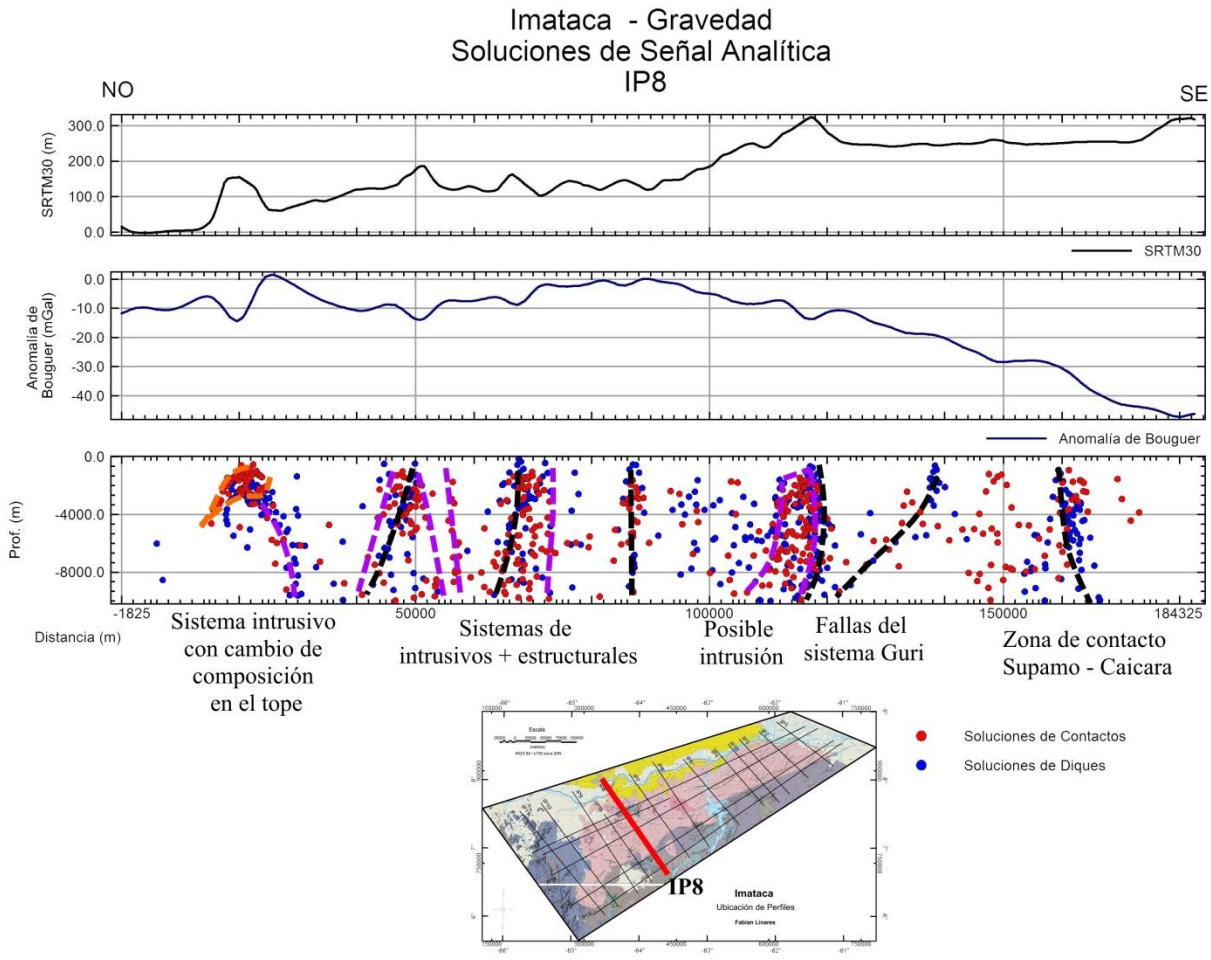


Figura 138. Soluciones de señal analítica en IP8. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos. Línea en guiones naranja: cambio de composición asociado a metamorfismo por posible intrusión.

El perfil IP9 (Figura 139) es uno de los más complejos, tanto en composición como en estructuras, en la zona que corresponde a Imataca. En este caso se observa inicialmente que hacia el SE en Pastora, para los cambios de composición que se observan en profundidad,

no se tiene asociación en superficie de referencia ya que la zona está cubierta de aluvión. Si se correlaciona las litologías circundantes que comprenden a Complejo Supamo y Complejo Caicara, esta región podría estar infiriendo la naturaleza del contacto entre ambos complejos (al menos para esta zona particular). Debido a la tectónica que domina la región, se observa que parte de Caicara sobre-corre a Supamo. Esto ocurre similar a la orientación y ubicación del río Aro. Es probable que, a su vez, en esta ubicación, exista alguna intrusión ya que las soluciones indican varios cambios de composición, no solo el contacto entre los complejos. Sin embargo, se debe observar las soluciones que indiquen los perfiles trazados para esta región para poder establecer la interacción entre ambos. Lo que sí se puede afirmar por lo pronto es que la tectónica en Imataca ha condicionado la disposición de las estructuras cercanas, independientemente de las litologías que estén en contacto.

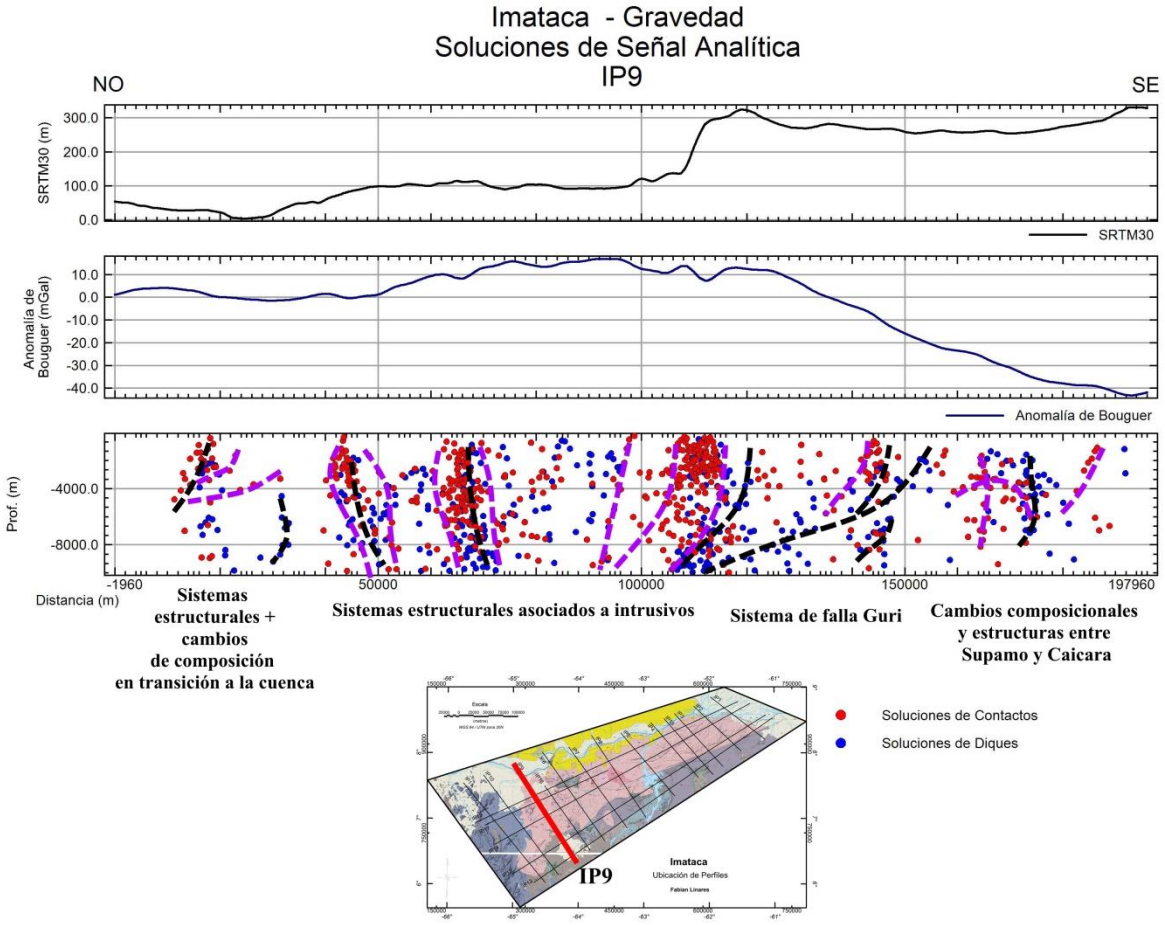


Figura 139. Soluciones de señal analítica en IP9. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

Un poco hacia el norte, en 150 km del perfil, se aprecia que la falla de Guri (o su prolongación) se hace mucho más horizontal, donde su dominio cambia de transcurrente a compresivo. Las estructuras observadas entre 50 km y 120 km que parecen convergentes, en realidad concuerdan con un mismo límite de corrimiento interpretado a partir de los mapas de gravedad. Es por ello que, a su vez, cambios litológicos similares existen en ambos extremos. Es decir, las 3 estructuras se encuentran representando al mismo corrimiento y a la misma litología en diferentes sectores de N-NO a S-SE. Es muy concordante el grado de inclinación y la respuesta composicional, lo que concluye en la afirmación de la delimitación inferida. Por ende, el perfil podría ser divido entre la falla de Guri y la posición 50 km del perfil como 3 fajas tectónicas diferentes de un mismo sistema. La primera consiste entre la falla de Guri y aproximadamente la posición 120 km del perfil, con composición relativamente homogénea y con patrones estructurales de pequeños corrimientos sobre el gran corrimiento que representa Guri. Luego se tiene la faja que corresponde a los 3 sistemas dibujados que en realidad son el mismo, donde las variaciones de litología son altas y las estructuras se encuentran más comprimidas; y por último se tiene la faja tectónica entre 70 km y 90 km aproximadamente. Cuyos patrones no son diferenciables en este perfil. Hacia el NO se siguen observando estructuras de transición a la cuenca y quizás en profundidad comienza la influencia de la tectónica con la provincia de Cuchivero.

El perfil IP10 (Figura 140) muestra la esencia de la forma que presenta el pequeño brazo de Imataca aflorante en el SO de la provincia. Este perfil muestra esta interacción muy claramente. Primero, hacia este sector ya la falla de Guri no tiene influencia, esto es indicativo que los microcontinentes que provenían del NE quedaron varados en este sector, ya que esta parte de Imataca ya presentaba restricciones de movimiento con la "triple sutura" entre Pastora, Cuchivero y el microcontinente Arqueozoico que integró a Imataca. Y esto es sugerido debido a que Imataca corresponde en el perfil entre las posiciones 50 km y 100 km aproximadamente, y su estructura interna se asemeja mucho a un margen pasivo en lo estructural. Incluso, en 50 km se observa lo que parece ser una antigua falla lístrica reactivada por compresión.

Los regímenes limítrofes a Imataca es este sector, ambos, sobre-corren a Imataca, pero con diferentes fuerzas y resistencias. Al sur, en su contacto con Pastora en parte (Supamo) y con Cuchivero (Caicara) en otra, hubo mayor resistencia al corrimiento por parte de Imataca, lo que obligó a formación de estructuras sub-verticales y que el metamorfismo fuese mayor. Esto último se aprecia debido a la cantidad de soluciones de contraste que tiene este contacto. Esto se refleja incluso en su relieve, ya que se observa en el perfil de topografía el cambio de 200 m de elevación en una distancia muy corta, casi generando una pared (que también la erosión y composición contribuyó a su morfología).

El límite norte de Imataca en el perfil está totalmente sobre-corrido por Cuchivero, lo que hace que el sistema tectónico transpresivo deje de prolongarse, y es por ello que a su vez, todas las estructuras al oeste del río Caura cambian a orientación N/NO-S/SE cóncavas hacia el SO, en contraste con la disposición SO/O-NE/E cóncava hacia el Atlántico medio de los CRV que son correlativos con sistemas similares en Brasil de concavidad ligeramente opuesta hacia el Atlántico sur. El corrimiento en el límite de Imataca es de oposición menor, ya que los relieves se encuentran más alejados de la zona de sutura en Cuchivero.

Al mismo tiempo, Imataca presenta variaciones de composición interna en este pequeño sector, principalmente en la ubicación 75 km del perfil, donde parece haber una intrusión de importante dimensión. Siendo Cuchivero también datada del Proterozoico temprano, es probable que la constitución de la Imataca que se presenta en la actualidad, amalgamada como una sola unidad, ocurra a partir de algún momento en el Proterozoico. Es decir, ya existía una faja tectónica de lo que hoy es Imataca en colisión con Cuchivero y Pastora occidental antes de que en la región central y parte occidental de Imataca se amalgamara. Es por ello también que las estructuras de corrimiento son asintóticas a Guri hacia el este, y de curvatura en dirección NO-SE hacia el oeste.

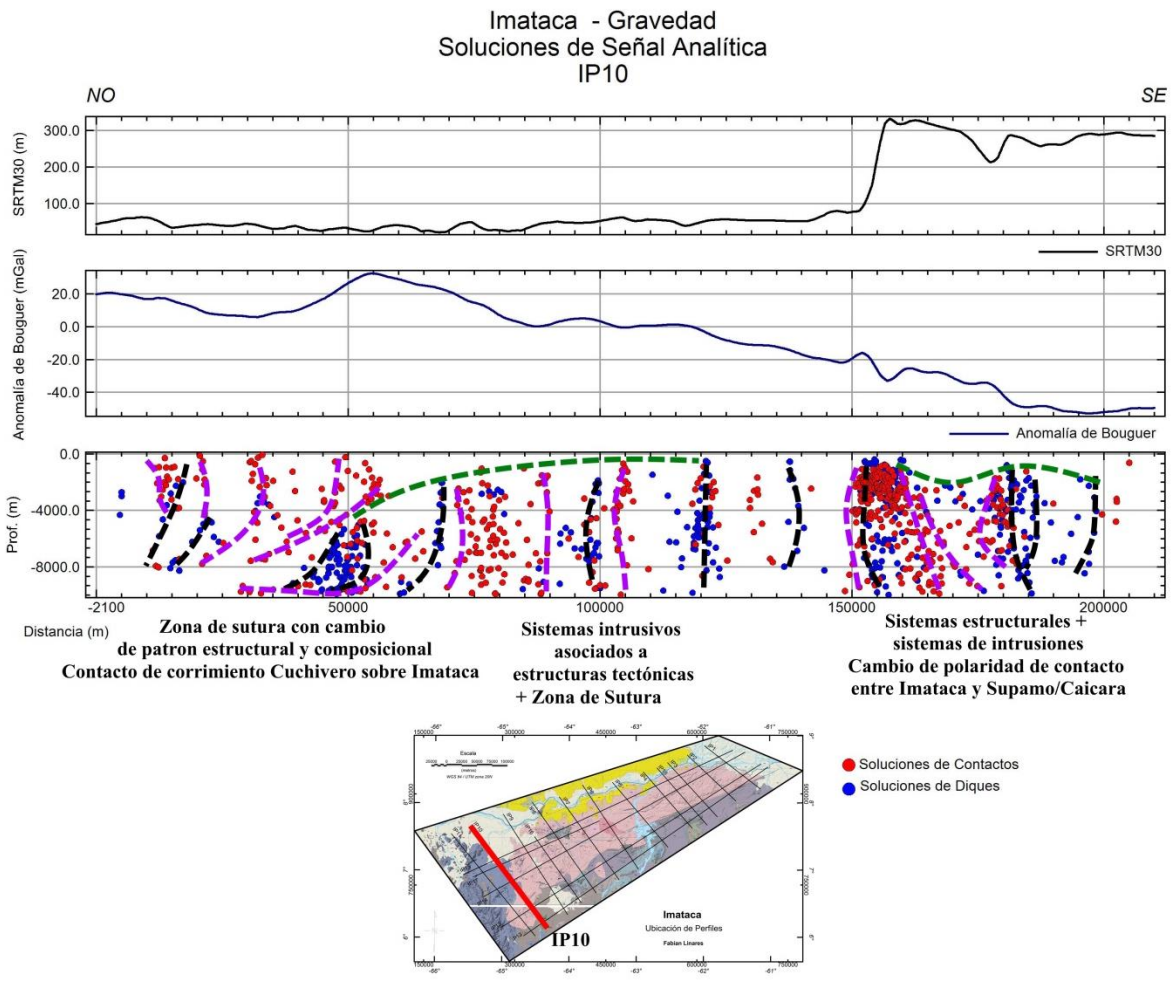


Figura 140. Soluciones de señal analítica en IP10. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos. Líneas en guiones verdes: contactos sub-horizontales importantes.

El perfil IP11 (Figura 141) corta una sección de Imataca muy particular que guarda relación con el anterior. Sin embargo, aquí existe un cambio estructural debido a la complejidad de la triple sutura. Si se observa el mapa geológico, se nota que Imataca se adelgaza al inicio del brazo, y luego aumenta un poco su tamaño. Esto se podría atribuir a un desplazamiento deslizante en sentido NO-SE producto de la convergencia de esfuerzos. Tenemos hacia el norte y centro del perfil a Cuchivero con un sistema claro compresivo de corrimiento sobre Imataca (similar que al perfil anterior), cuando alcanza a Imataca el corrimiento se invierte respecto al caso anterior, y lo mismo ocurre con Caicara más al sur. Es como si Imataca

fuese una especie de flor positiva. Un pequeño trozo de Arqueozoico entrampado entre dos provincias colisionando de manera oblicua.

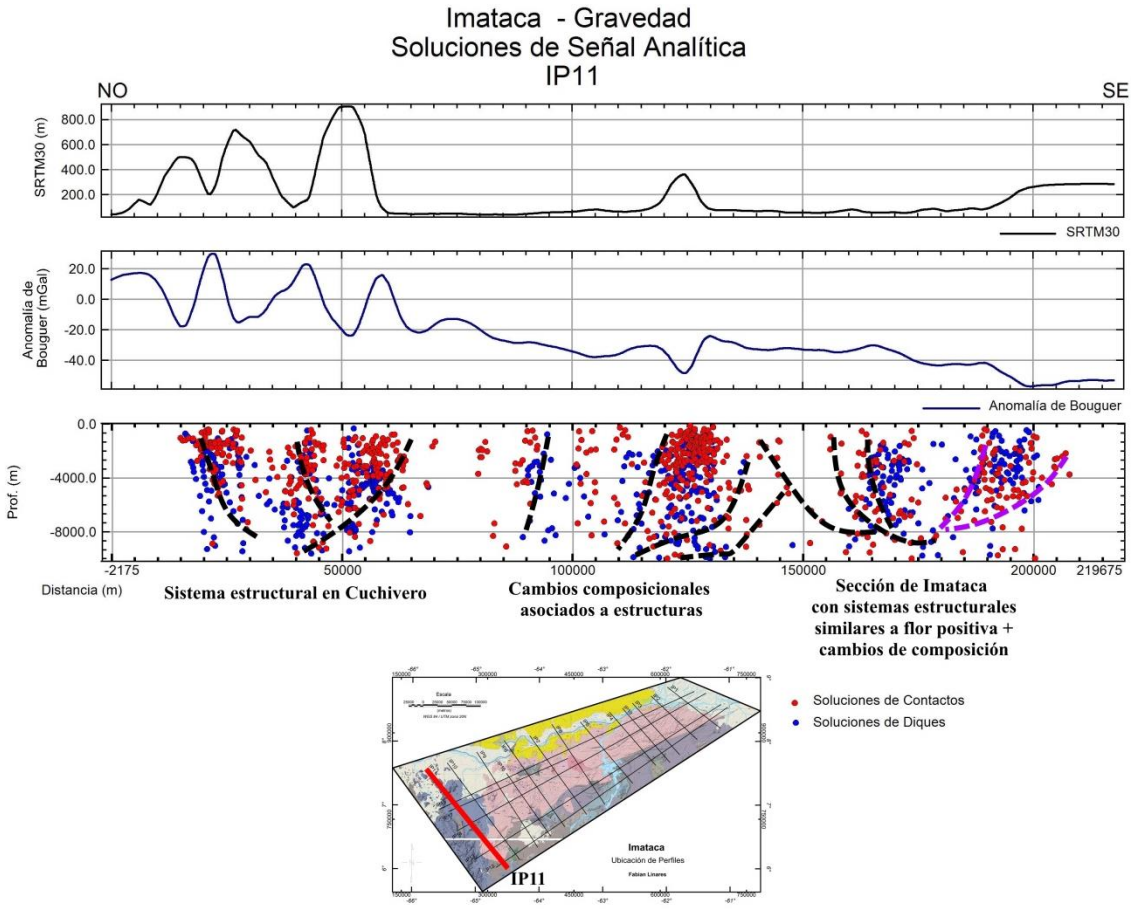


Figura 141. Soluciones de señal analítica en IP11. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

El perfil IP12 (Figura 142) es el primero del conjunto de cortes que desectan la provincia de Imataca transversalmente, semi-paralelos a la orientación de la falla de Guri. En este perfil, hacia el SO, se aprecia un sistema compresivo que indica la convergencia entre Cuchivero y Caicara, a su vez influenciado por la prolongación del límite de la provincia de Imataca en subsuelo. El conjunto de cambios de composición que se dibujan se encuentra donde sistemas de diabasas en un contexto tectónico complejo, con sistema compresivo de corrimiento entre Caicara y Supamo a medida que se aproxima hacia el centro del perfil. El cambio o contacto entre Caicara y Supamo en subsuelo se ubica entre 150.000 m y

200.000 m del perfil, afectado por cambios de composición que sugieren ser post-colisión, ya que estas diferenciaciones son sub-verticales.

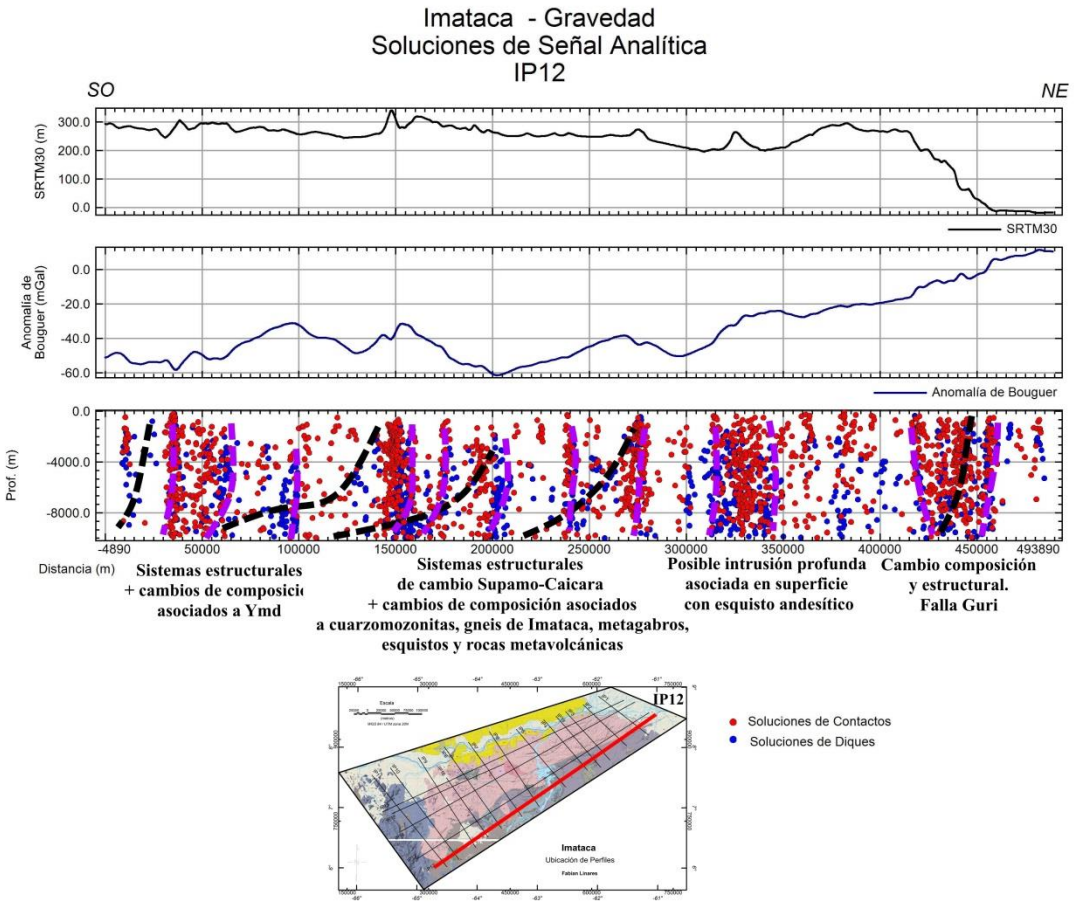


Figura 142. Soluciones de señal analítica en IP12. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

Entre 250.000 m y 300.000 m del perfil, parece que los sistemas de fajas tectónicas de Imataca tienen influencia hacia la provincia de Pastora. Esta zona en particular concuerda con un conjunto de litologías metamórficas que sugieren cambios de temperatura y presión que podrían coincidir con el marco compresivo general. Sin embargo, cuando se observa el NE del perfil, posterior a la proyección de la zona de pivote, este patrón desaparece. Esto conduce a pensar que el sistema estructural de Pastora (su sección Supamo) es paralelo al sistema Guri. Es decir, el perfil hasta los 300.000 m corta sistemas estructurales perpendicularmente, a partir de esta ubicación aproximadamente, el sistema estructural

cambia, y el perfil corre paralelo a este sistema. Cuanto se calculen este tipo de cortes en la provincia de Pastora, probablemente, se podrá observar de mejor manera estas características. Los cambios composicionales que ocurren en esta sección del perfil coinciden donde en superficie se observan litologías diferentes a Supamo.

El perfil IP13 (Figura 143) representa la complejidad estructural presente justo sobre el límite sur de Imataca. Debido a la curvatura que presenta este límite (anteriormente descrito), conlleva a que el perfil alterne en varias ocasiones entre Imataca y otra provincia limítrofe. En general, muchos lugares donde se encuentran sistemas estructurales también son acompañados por cambios de composición, esto obedece a lo anteriormente mencionado. Para este caso, la frontera entre Imataca y Cuchivero no es claramente representada; sin embargo, los sistemas estructurales descritos en perfiles anteriores son constantes. Sería más prudente mencionarlo como una zona de transición compresiva, posteriormente relajada. Alrededor de los 150.000 m del perfil, se dibuja la estructura que limita Imataca de Supamo. El cambio de composición es evidente, incluso sugiriendo que el esfuerzo tectónico alteró considerablemente la composición, quizás con influencia de flujos de calor.

En 200.000 m se encuentra un bloque semi-triangular que se atribuye a un pedazo de Imataca ubicado al sur de Guri sobre Supamo. Se aprecia que el mismo se encuentra influenciado por la tectónica de contexto, probablemente siendo un bloque desprendido durante la transpresión. Además, este bloque presenta una extensión en profundidad que podría alcanzar los 8 km. A partir de este punto, los sistemas estructurales y cambios de composición son concordantes con los lugares donde existen los mismos en superficie.

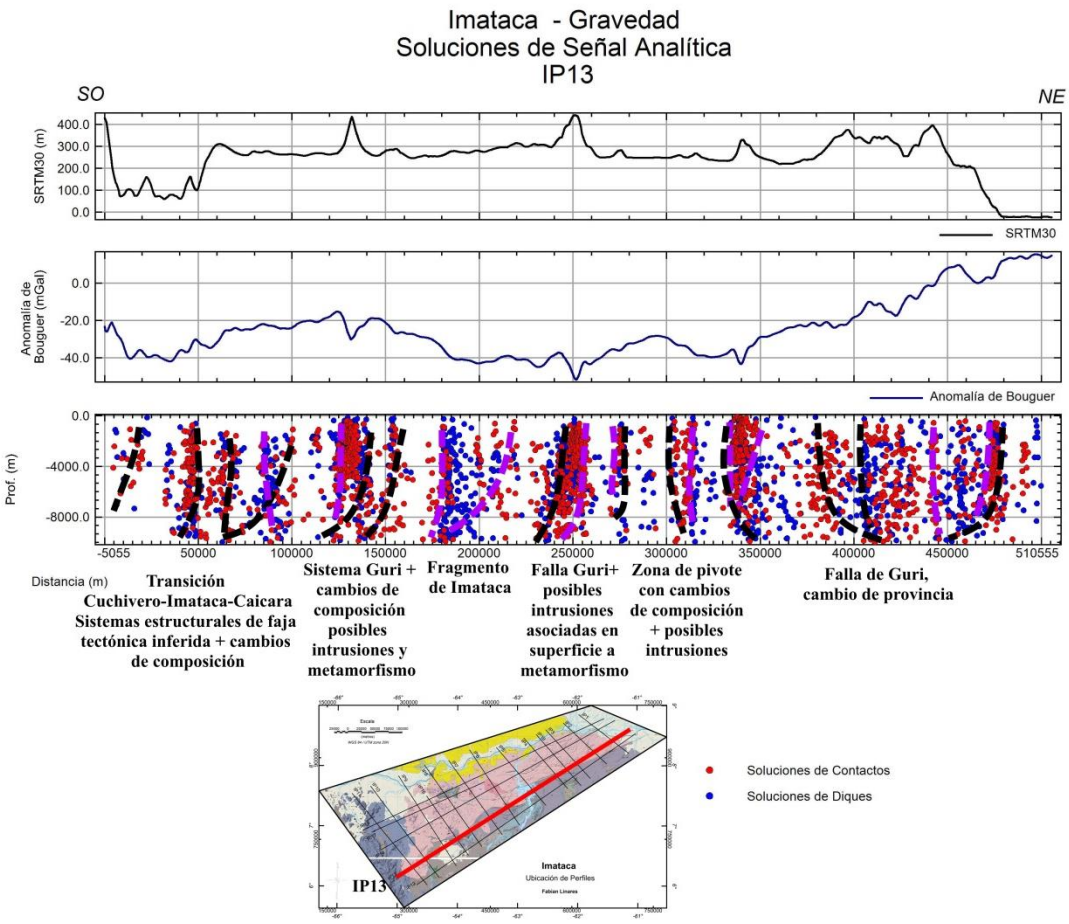


Figura 143. Soluciones de señal analítica en IP13. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

El perfil IP14 (Figura 144) hacia el SO muestra la naturaleza del contacto entre Imataca y Cuchivero, siendo el mismo compresivo, donde Cuchivero en este sector sobre-corre a Imataca, coincidiendo la interpretación realizada en el mapa regional, donde en los 50.000 m del perfil se observa el corrimiento principal que limita las provincias, marcando a su vez, el final de las fajas tectónicas como conjunto. Los cambios de composición que se observan justo después alrededor de los 100.000 m del perfil obedecen a sistemas intrusivos que modifican la topografía de la provincia de Imataca. Estos sistemas sugieren ser sub-verticales y heterogéneos, influenciados por una tectónica similar a las fajas. Esto podría sugerir dos opciones: 1) que las intrusiones ocurrieron antes del acoplamiento, debido a que esta zona fue la última en suturar; 2) que las mismas fueron sincrónicas al acoplamiento aprovechando las zonas de debilidad para el ascenso del material magmático. Ambas

opciones concordarían en que el cambio composicional, ya que estas rocas se encontraban a mayor temperatura y, por ende, más maleables, permitieron el cambio estructural sobre el río Caura, pero solo en esta sección particular, ya que en perfiles anteriores se observa que esta frontera presenta cambios de vergencia, buzamiento y naturaleza, sobre todo hacia el brazo prolongado del suroeste. Este material nuevo (para ese entonces) permitió el acordamiento y a su vez la curvatura que presentan las fajas tectónicas, que tuvieron que liberar el esfuerzo y curvarse. El brazo del suroeste fue de cierta manera más rígido, obligando al fracturamiento y la continuación de su cinemática hasta cierto punto, no mucho más allá. Esta movilidad lo obligó a montarse sobre las colindantes Cuchivero y Caicara. Además, esta sección de la faja parece ser de menor espesor que el resto, probablemente por no permitirse acumular material por las colisiones como las demás.

La dinámica que condicionó el acoplamiento de las fajas tuvo que ser complejo, con particiones de esfuerzos diferentes, que serían difíciles de reconstruir. Esto se nota en la configuración central que muestra el perfil, que si bien predominan fallas de buzamiento norte, como es de esperar, existen sistemas complementarios de relajamiento que fracturan con vergencia contraría. Los cambios de composición que se encuentran allí presentes, en el interior de estas fajas, obedecen al ascenso de material nuevo como elemento principal probablemente, y en segunda instancia al metamorfismo por tectonismo. Evidencia de ello es el confinamiento que presentan las migmatitas (unidad AXm en el mapa geológico) alrededor de los 250.000 m, el cual se encuentra limitado por fallas y también fallado internamente.

En esta sección el sistema de El Pao es cortado al menos tres veces debido a la orientación del perfil. En este caso su buzamiento es difícil de caracterizar porque a partir de los 300.000 m del perfil, el mismo corre semi-paralelo a las estructuras. Sin embargo, se puede apreciar los cambios de composición que existen a nivel cortical de este sector junto a la transición del sistema hacia el delta.

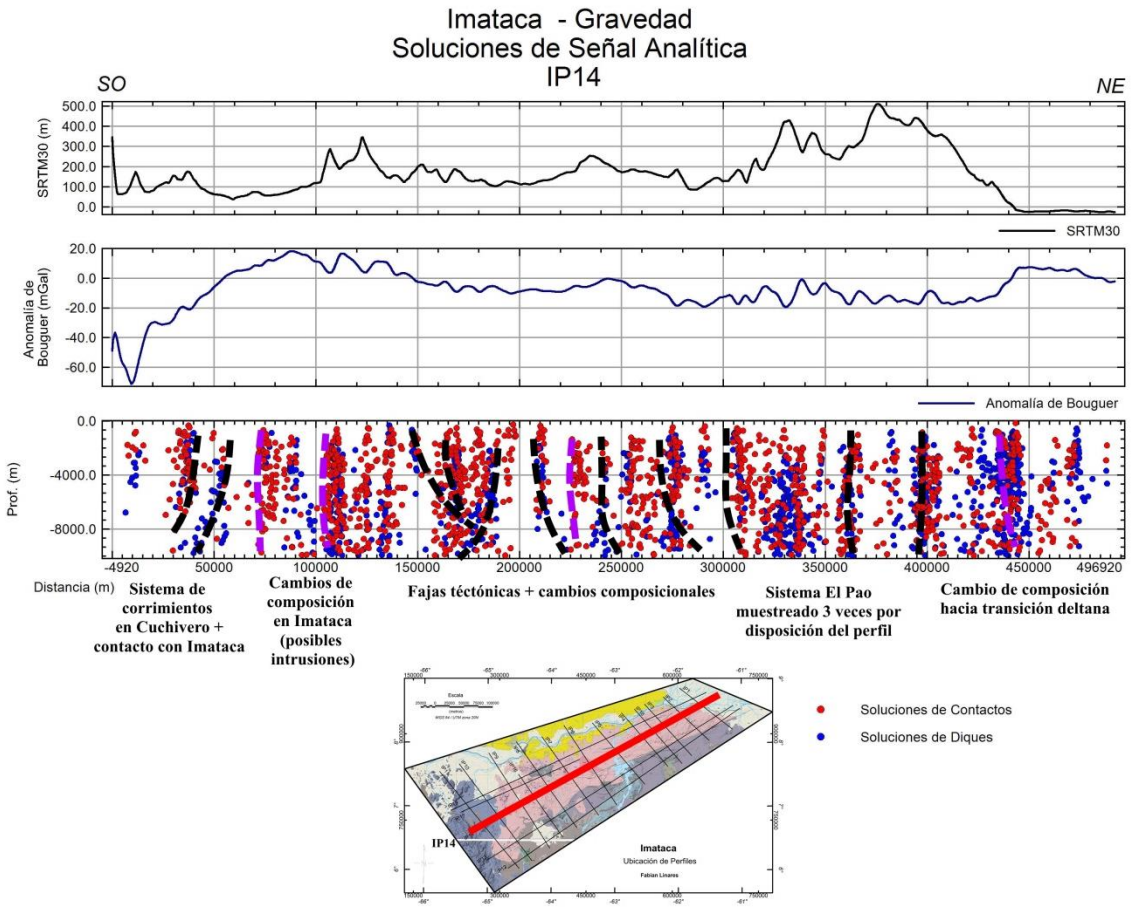


Figura 144. Soluciones de señal analítica en IP14. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

El perfil IP15 (Figura 145) es el que muestra la mayor variabilidad composicional de todos. Es un perfil muy representativo de lo que ocurre en la zona de pivote, y representa el cambio de grado de buzamiento que presentan los corrimientos hacia el norte de la provincia, haciéndose los mismos más horizontales. Esto puede ser justificado por el hecho de que a medida que las estructuras se alejan del sistema Guri, la prevalencia trascurrente disminuye, y aumenta la influencia de la compresión, haciendo que las estructuras no sean tan verticales. En el SO del perfil, los sistemas tectónicos de contacto entre Cuchivero e Imataca son más evidentes, pero en este sector, un bloque de Imataca sobre-corre a Cuchivero obligando a que parte de la faja (que además presenta una intrusión) obduzca, como se dibuja grosso modo entre 50.000 m y 100.000 m del perfil. En este caso, el corrimiento de contacto teórico se encontraría del lado de Imataca, unos 28 km al este del

río Caura, pero el retro-corrimiento de contacto real cercano a superficie a unos 10 km al este del mismo río.

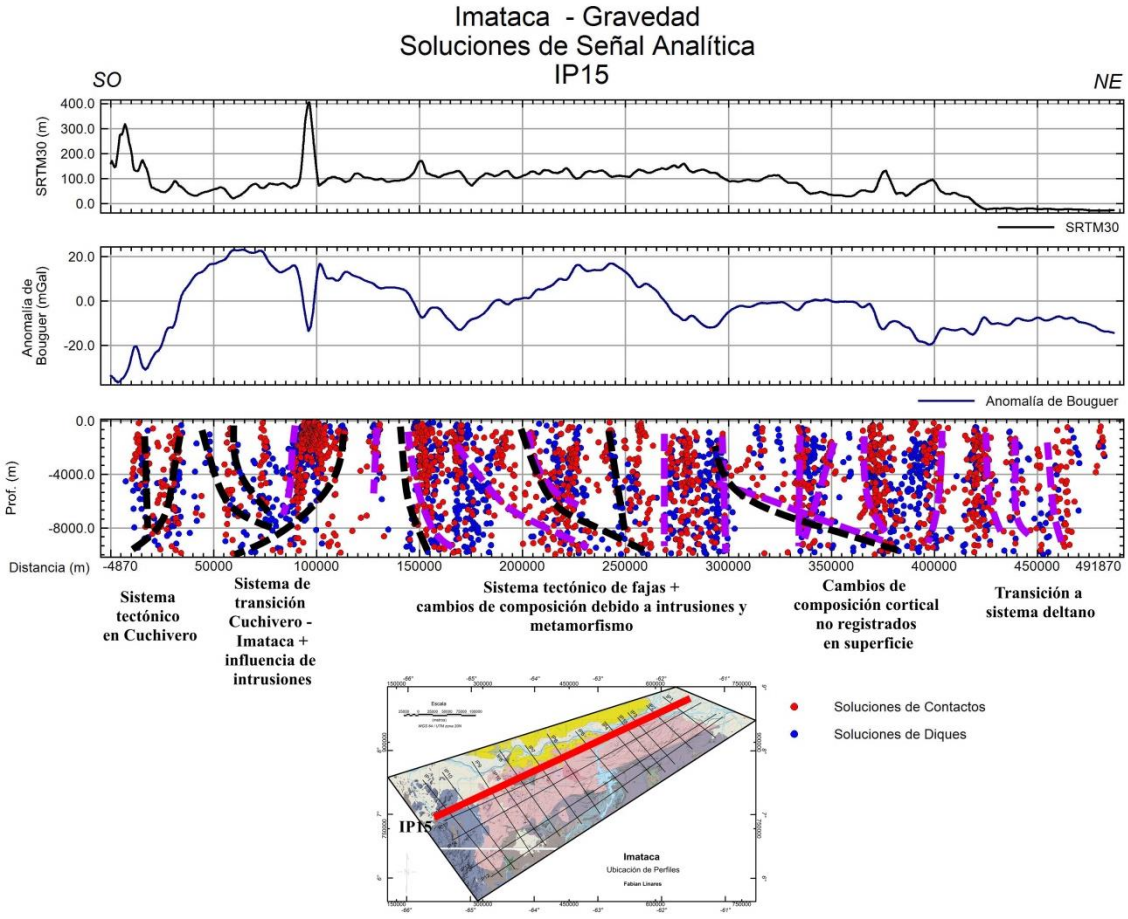


Figura 145. Soluciones de señal analítica en IP15. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

La sección central se encuentra caracterizada por los corrimientos anteriormente mencionados junto a cambios de composición que obedecen a metamorfismo tectónico, de contacto e intrusiones. El sistema de fajas es a grandes rasgos lo dominante en este sector. Hacia el NE se observan cambios de composición probablemente debido al aglutinamiento de rocas de diferente composición o sistemas de intrusión corticales que no afloran, la disposición del perfil no permite discriminar. La transición de la provincia hacia el delta se observa al aumentar la profundidad de las soluciones a partir de los 450.000 m del perfil, aun cuando pequeños escalones se observan ya al final del perfil, que podrían obedecer

quizás a algún basculamiento del basamento que repercute en las capas de sedimento más consolidadas.

El IP16 (Figura 146) es un perfil que permite ejemplificar el por qué las soluciones en perfiles de amplia cobertura se observan muy verticales. El mismo fue trazado con menor longitud entre los perfiles IP8 y IP9 para caracterizar el conjunto de intrusiones silícicas (AXgr) y la transición de la provincia hacia Supamo a través de una zona de complejidad tectónica mayor. Es evidente que las estructuras ahora se observan con buzamiento más horizontal, debido a las proporciones relativas entre longitud y profundidad del perfil.

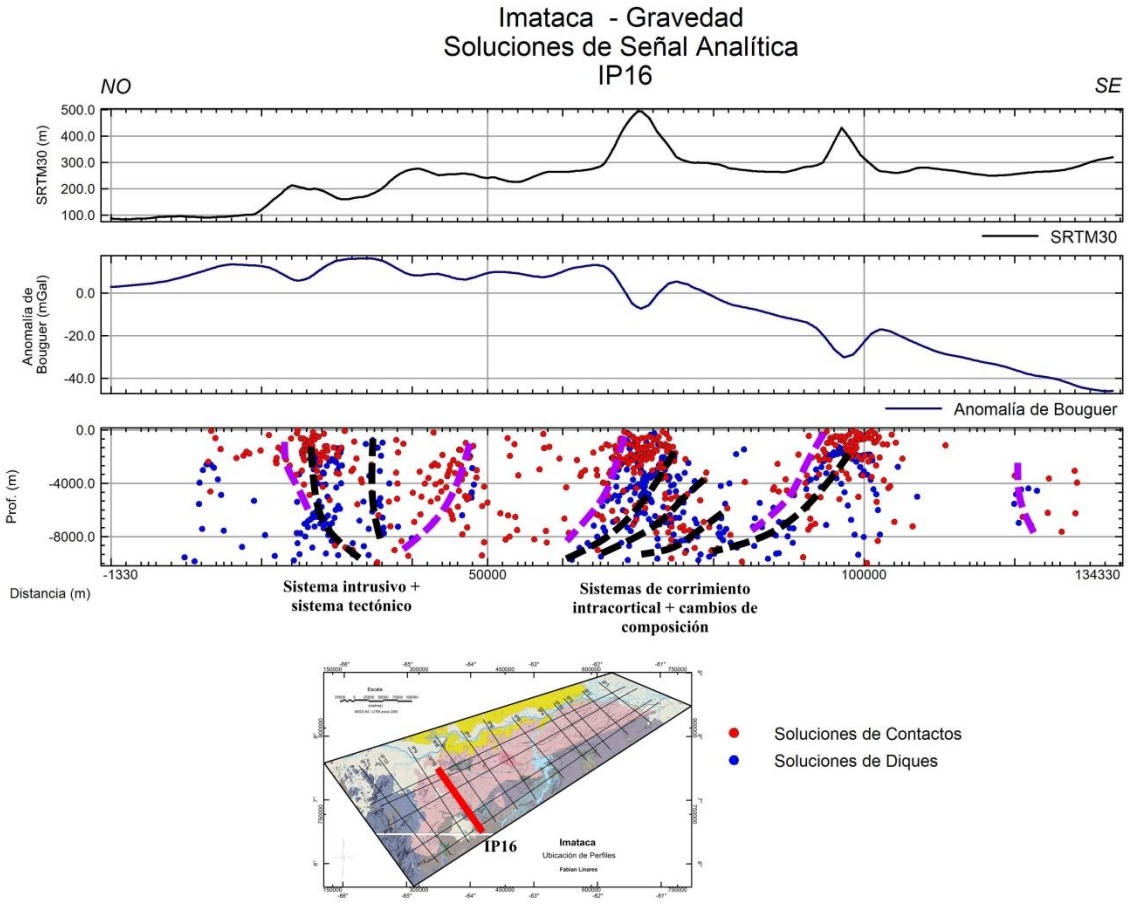


Figura 146. Soluciones de señal analítica en IP16. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

Es de notar que en este perfil se puede apreciar al sistema Guri en el suroriente de Imataca de mejor manera, junto a una serie de corrimientos muy profundos en respuesta al acoplamiento de las fajas tectónicas. Hacia el tope de la estructura, en los 100.000 m del

perfil, se observa que las rocas metamórficas aflorantes corresponden a un bloque relativamente superficial, con ligera expresión en profundidad. Caso contrario es el cuerpo intrusivo observado en 70.000 m del perfil aproximadamente, donde se aprecia un bloque de diferente composición que el resto de la faja tectónica dominado por una falla de corrimiento.

Debido a la disposición del perfil y quizás a la curvatura de las fajas, las siguientes estructuras se observan con cambio de polaridad hacia el NO, siendo las mismas de igual manera concordantes con la ubicación de sistemas intrusivos.

El IP17 (Figura 147), al igual que el anterior, es un perfil intermedio, motivado a la mejor caracterización de cierta zona de mayor complejidad. El mismo se encuentra entre IP14 e IP15. Al ser de menor longitud, ocurre el mismo respecto a la verticalidad de las estructuras.

Hacia el suroeste, la primera estructura podría ser un sistema intrusivo influido por el tectonismo de colisión. En este caso, por debajo del río Caura existe un corrimiento de gran envergadura que no parece representar el contacto. Al igual que menciona el perfil IP15, la ubicación del corrimiento teórico de contacto se encuentra hacia el este del río. En este perfil, a unos 15 km del río. La estructura de retro-corrimiento mencionada en ese perfil previo en este caso es de mucha menor envergadura, y por ende su respuesta es pobre, solo algunas soluciones lo demarcan, y por ende no fue dibujado. Lo que sí es evidente la zona de choque a nivel de la intrusión, donde los sistemas tectónicos convergen, y se ejemplifica lo que la plasticidad del material nuevo caliente permitió. Incluso a nivel topográfico es notable junto a un déficit de la anomalía de Bouguer en 75.000 m del perfil aproximadamente. Desde este punto hacia el NE el patrón tectónico continúa de igual manera a lo descrito previamente, en concordancia con la disposición de las fajas tectónicas.

Alrededor de 175.000 m del perfil, se observa un bloque de tamaño considerable con composición muy discordante, ubicado junto donde la geología de superficie indica el afloramiento de metagabros (Xg1), que parecen estar dispuestos de manera acorde con los lineamientos estructurales.

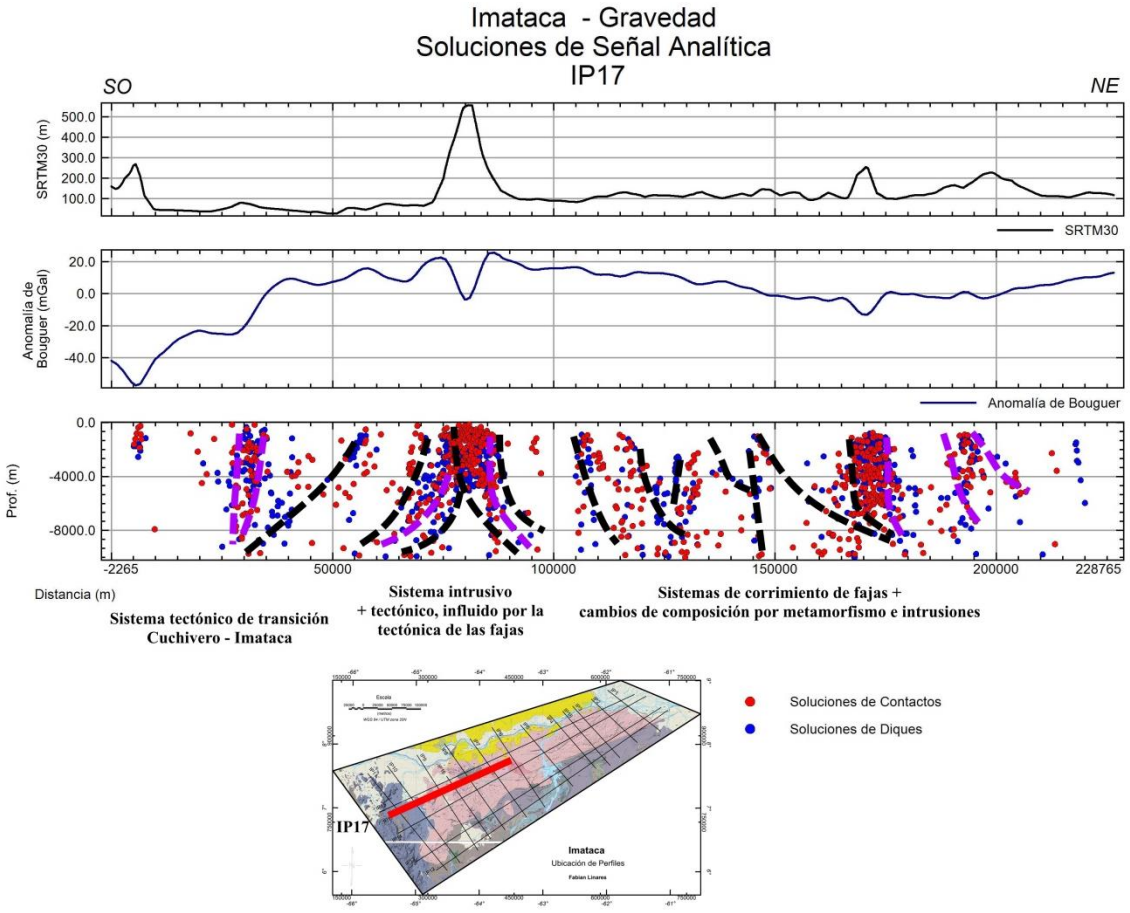


Figura 147. Soluciones de señal analítica en IP17. Prof.: profundidad. SRTM30: modelo de elevación digital de terreno. Líneas en guiones moradas: cambios composicionales significativos.

SOLUCIONES DE PERFIL - PROVINCIA PASTORA

Un total de 26 perfiles fueron calculados a partir de la técnica de señal analítica y deconvolución de Werner para la provincia de Pastora, cuya ubicación de cada uno de ellos se observa en la Figura 148.

Las soluciones mediante la deconvolución de Werner en algunos perfiles han resultado en una cantidad poco representativa. Por ello, solo los perfiles que muestran mayor cantidad de estas soluciones serán presentados y analizados junto a las soluciones de señal analítica.

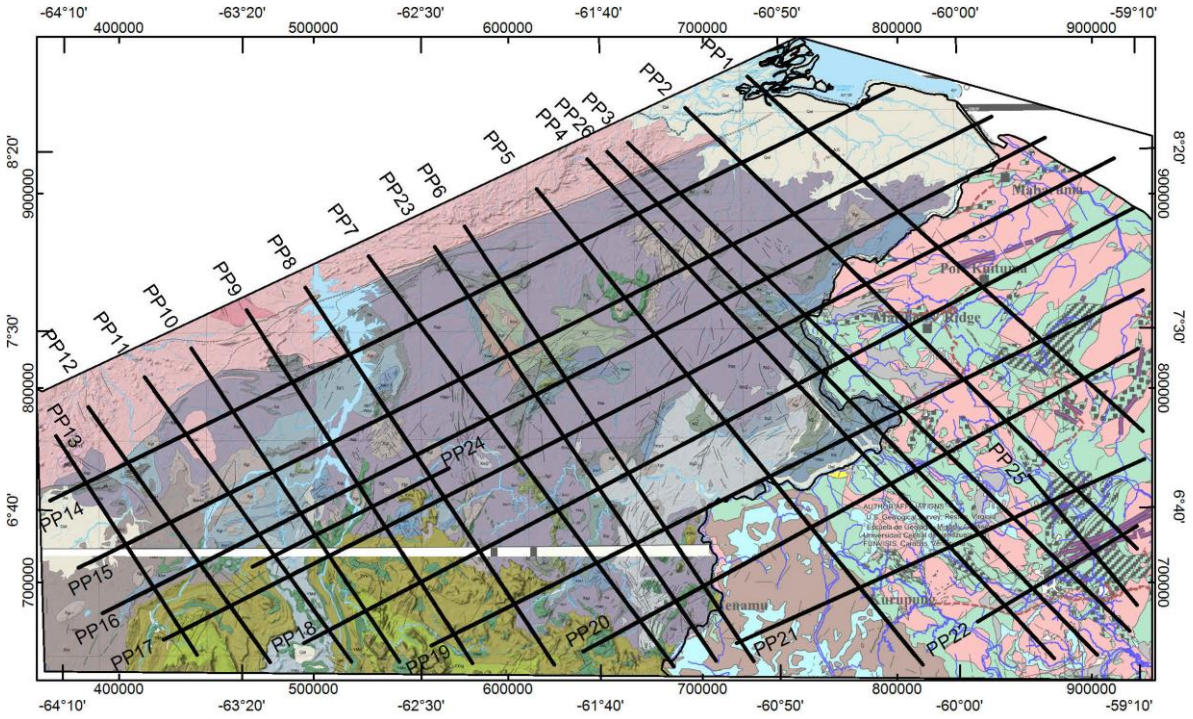


Figura 148. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la provincia de Pastora, sobre el mapa geológico de Hackley *et al.* (2005) para Venezuela y de Cole & Heesterman (2001) para Guyana.

En el perfil PP1 (**P**astora **P**erfil **1**) se observan un conjunto de estructuras que buzan en dirección norte (Figura 149), cortadas a su vez por sistemas intrusivos que sugieren corresponder a granitoides del Complejo Supamo. En algunos casos, estos contrastes están asociados a la presencia de diques, sobre todo hacia Guyana. La verticalidad de los contrastes, a pesar de que no necesariamente tienen esta geometría, conlleva a que los sistemas estructurales son posteriores a la formación de los CRV. Durante la interpretación se observaron vestigios de antiguos sistemas de disposición contraria a los que se ejemplifican. Debido a la imposibilidad de corroborarlos, no han sido dibujados en la sección. Los mismos sí podrían corresponder a antiguos sistemas presentes justo luego o sincrónicos a la formación de los CRV. Los mismos parecen presentar buzamiento sur, tal como correspondería si se tratase de las estructuras durante la apertura del mar de Pastora. El problema yace en que los mismos pudieron sufrir reactivación o modificación durante los esfuerzos que cambiaron la disposición de la provincia, no como sistemas principales de corrimiento, sino como sistemas secundarios de retro-corrimiento oblicuo por reacomodo de material. Es por ello que su interpretación y trazado es complicado, mezclándose en la

mayoría de los casos con contrastes de composición en intrusiones que aprovecharon los canales de fractura. Sin embargo, si se desea apreciar esta inquietud, en el conjunto de soluciones entre 150.000 m y 250.000 m del perfil y entre 2 km y 8 km de profundidad, aparecen nubes de soluciones de contacto que buzan hacia el sur truncadas por el principal sistema de vergencia contraria.

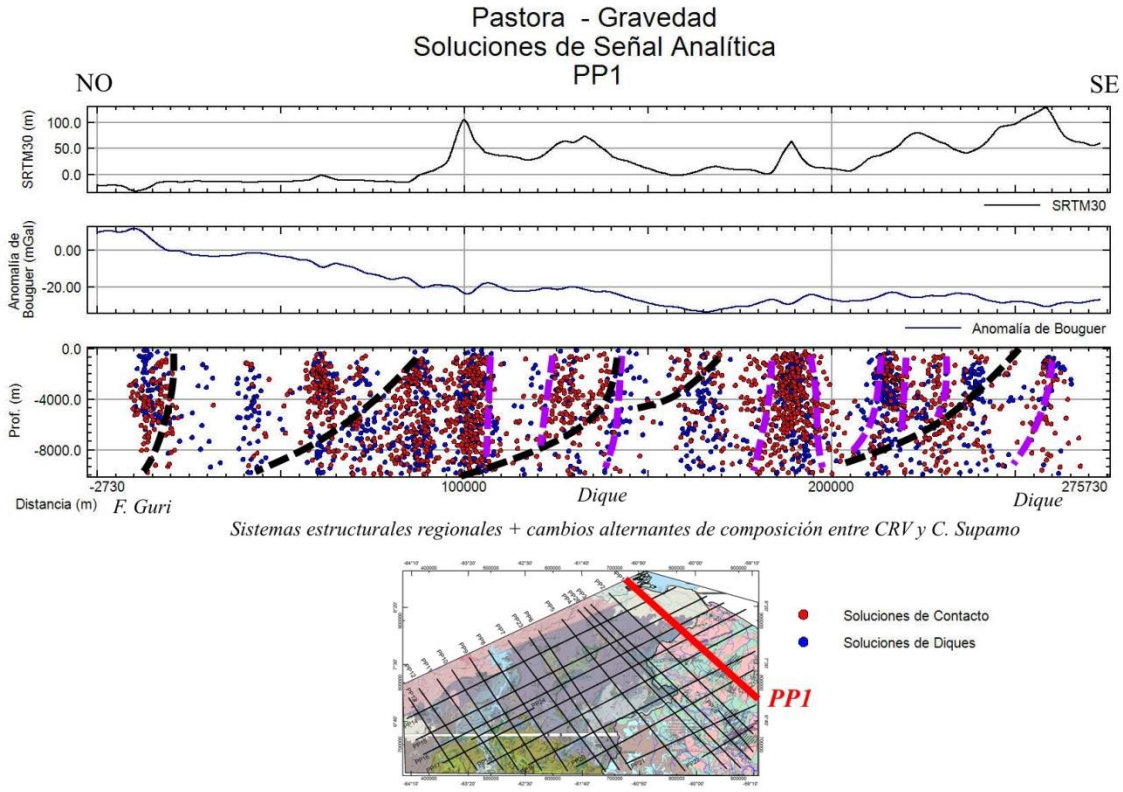


Figura 149. Soluciones de señal analítica de gravedad en PP1, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales inferidos, líneas de guiones morados: cambios de composición.

En el perfil PP2 (Figura 150) se observa que lo composicional marca los patrones observados a nivel cortical. Las estructuras no son tan evidentes como en el caso de Imataca. En primera instancia, se observa un conjunto de soluciones que sugieren una interfase alrededor de los 2,5 km de profundidad, que podría corresponder con la parte supra-cortical del Complejo Supamo. Evidentemente, no solo en sentido lateral sino también en el eje vertical, existe diferenciación magmática dentro del complejo. Al éste intrusionar en la provincia, estos granitoides pudieron en algún momento cubrir la mayor

parte de la misma, principalmente hacia el norte donde se registran los bloques de mayor espesor.

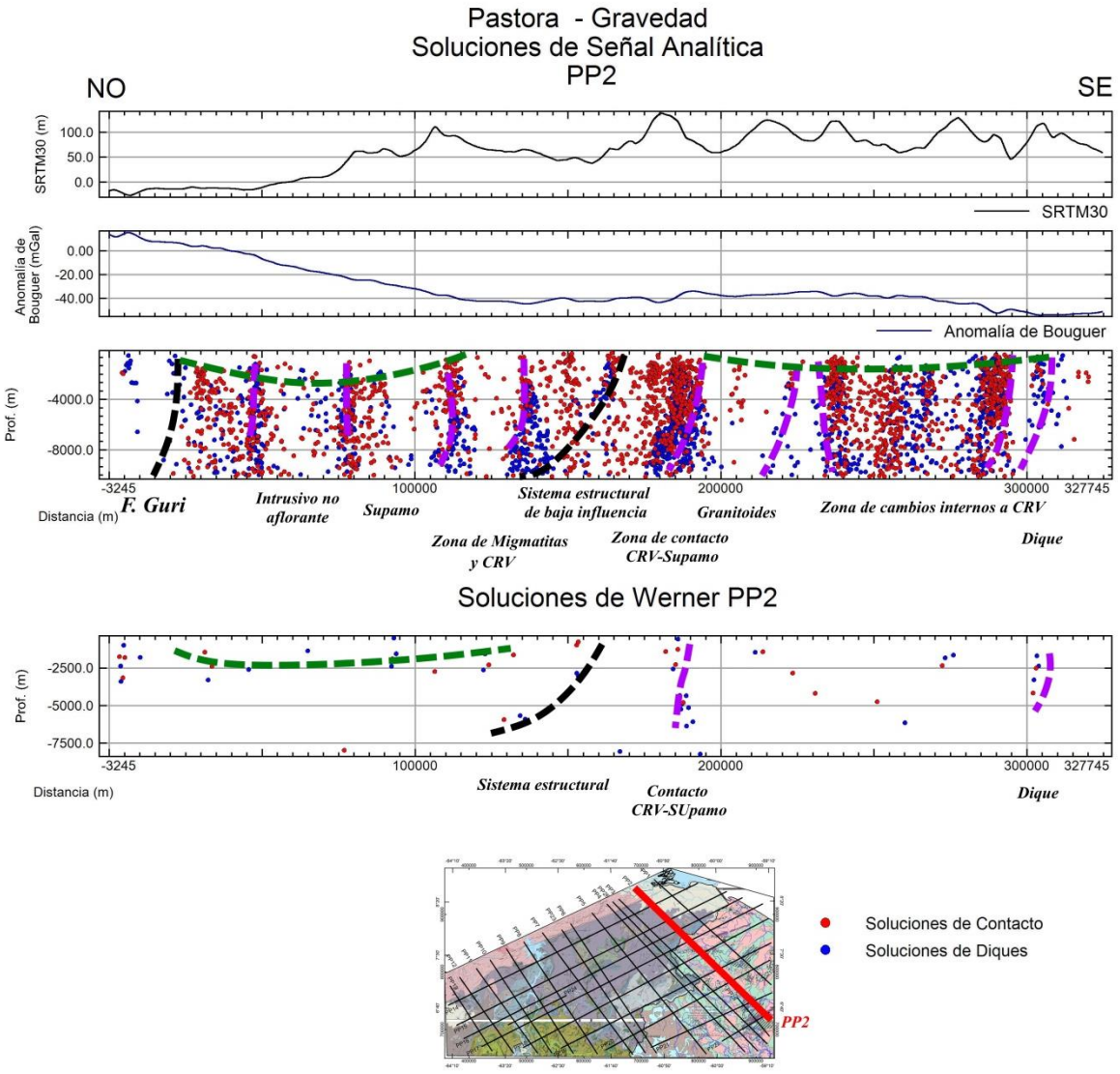


Figura 150. Soluciones de señal analítica y Werner en datos de gravedad en PP2, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

De NO a SE en el perfil, existe una alternancia entre rocas pertenecientes al CRV (que son mucho más variadas en composición) y granitoides del Complejo Supamo. En algunos sectores con presencia de rocas metavolcánicas, existe un patrón sub-vertical de soluciones que marcan el cambio de composición y que podría estar asociado a su vez a algún sistema estructural. Las migmatitas, por el contrario, se encuentran en la zona con mayor influencia

tectónica del perfil, que comprende al área afectada por la falla alrededor de los 150.000 m del perfil. Al ser estas rocas producto de metamorfismo intenso, cuyo protolito es una roca silicatada, es probable que sean granitoides metamorfizados por el cambio de disposición regional de la provincia durante esfuerzos compresivos. Se debe recordar que el perfil, y en específico esta zona, se encuentra cerca de la región inferida de bisagra del sistema, que permitió a la provincia tener la disposición que presenta hoy día.

Los principales rasgos que presenta la señal analítica también los muestran las soluciones de Werner, estando el mayor contraste de composición en la sección central un contacto entre CRV y Supamo. Los demás contrastes podrían atribuirse a contactos transicionales, en los cuales al subir Supamo se modificó la naturaleza de las rocas circundantes de CRV y, por ende, el contraste gravitatorio es gradual. El contraste que se muestra más marcado podría estar influenciado por sistemas estructurales que hacen más abrupto el cambio litológico.

El perfil PP3 (Figura 151) refleja en su mayor parte contrastes litológicos relevantes, principalmente diferenciando sectores de influencia CRV en contraste con sectores de influencia Supamo. Inicialmente, las soluciones de señal analítica revelan la ausencia de soluciones en algunos sectores a niveles de profundidad someros (menores a 4 km en este caso). Esta interfase representa varias cosas: en zonas de dominio Supamo representa un límite supra-cortical de variación litológica de este complejo, en zonas de dominio CRV consiste en diferencias de composición internas a los CRV cuya naturaleza es difícil de precisar. Inferior a esta interfase, los contactos tienden a ser sub-verticales, con respuestas prolongas en algunos casos a superficie, sobre todo en zonas donde existen posiblemente intrusivos posteriores a Supamo. Un ejemplo de ello es el sistema que se encuentra aproximadamente a los 50.000 m del perfil que presenta en afloramiento un tope de cuarzo-monzonita. En la zona constituida de CRV, que abarca la mayor sección del perfil, entre 70.000 m y 250.000 m del perfil, es una mezcla composicional, con fuertes contrastes asociados a las zonas originales de los cinturones, pero con influencia térmica posterior producto de la intrusión de los granitoides. Los contrastes presentan cierta influencia tectónica moderada, no siendo esto el causante principal de los contrastes.

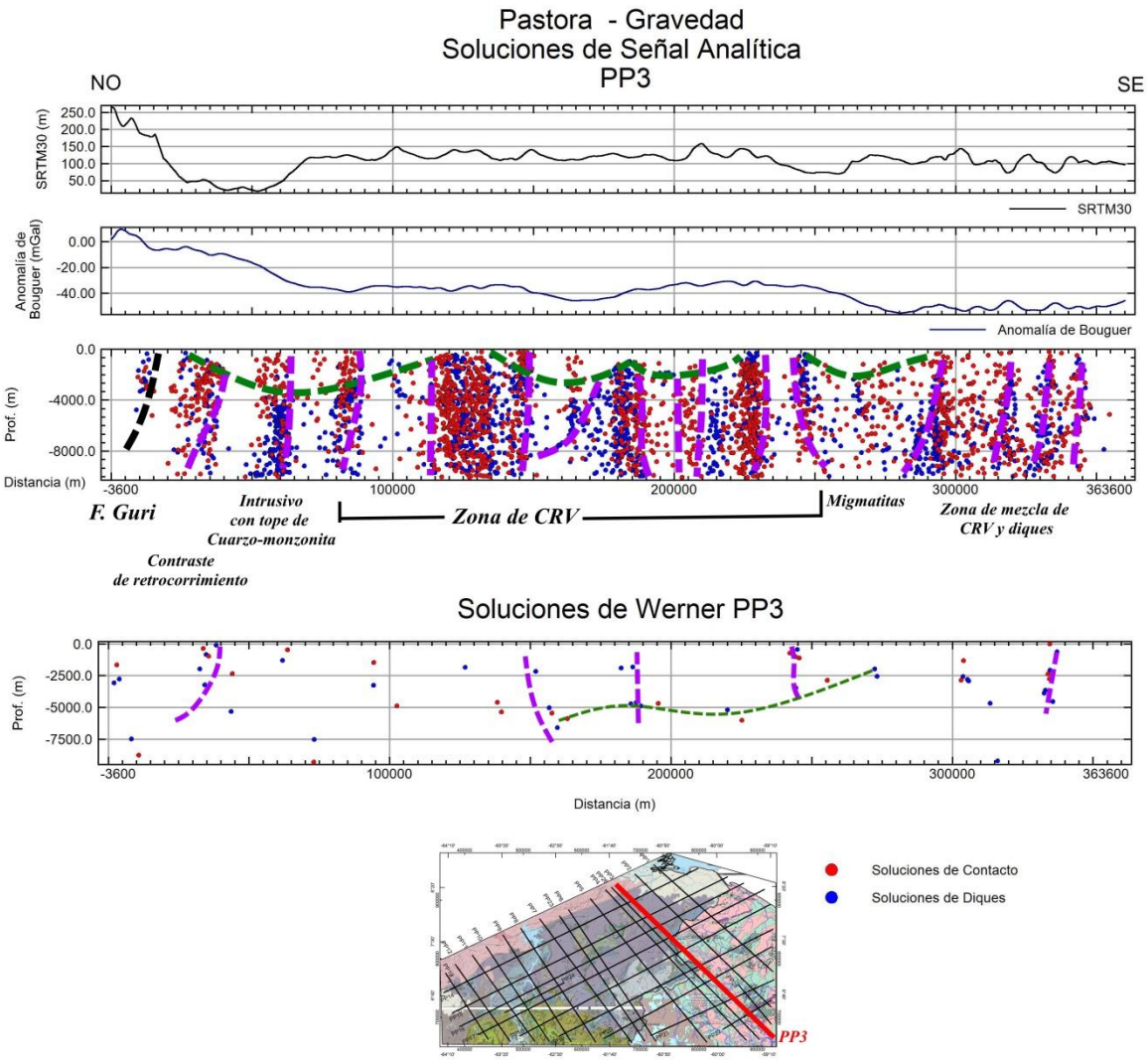


Figura 151. Soluciones de señal analítica y Werner en datos de gravedad en PP3, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

Hacia el SE, la zona de migmatización está limitada por conjuntos de soluciones en los bordes. Esto sugiere que probablemente la migmatización ocurrió en un tipo de litología específica, con gradaciones laterales de temperatura debido a las soluciones en su interior. A partir de los 300.000 m del perfil la influencia tectónica aumenta, y se evidencia la presencia de diques intrusivos a un bloque heterogéneo de CRV que presentan rocas metasedimentarias en el tope y metabásicas y metavolcánicas hacia profundidad. Es de acotar que no necesariamente los contrastes marcados delimitan la morfología de los cuerpos con precisión, sino que consisten en una aproximación en base a las soluciones

observadas y el sentido geológico que a las mismas se les sugiere. No obstante, la tectónica imperante en el área parece ser compresiva, con sistemas de corrimiento poco marcados debido a que ocurren internos a los CRV y a los granitoides, resultando en contrastes de densidad relativamente bajos.

Las soluciones de Werner muestran los mismos contrastes principales sub-verticales, y además, una interfase más profunda interna en los CRV a alrededor de 5 km de profundidad, cuya forma puede concordar con dos opciones: a) cambios de composición horizontal interna a un cinturón específico y/o b) dos cinturones en contacto por un sistema de corrimiento. Ambas opciones son probables debido a que, en el primer caso las soluciones de los cuerpos sub-verticales en señal analítica enmascaran la respuesta de esta interfase, y en el segundo caso, un sistema casi paralelo se observa por debajo de las soluciones de entre 300.000 m y 350.000 m del perfil, que no ha sido dibujado por ser las soluciones complicadas de aislar.

El perfil PP4 (Figura 152) tiene una importante ubicación, mostrando gran variabilidad geológica cortical y sugiriendo sistemas de disposición claves para la comprensión de la provincia y su configuración interna. Las soluciones en el perfil inician al noroeste, con la respuesta de la falla de Guri y el resultado de la compresión con un sistema de fallamiento semi-paralelo, constituido principalmente de rocas pertenecientes al Complejo Supamo. A partir de los 50.000 m del perfil aproximadamente, es probable que un cuerpo intrusivo de gran tamaño se encuentre cortando la mayor parte de la corteza, exhibiendo en superficie una costra compuesta de cuarzo-monzonita. Este intrusivo debe ser necesariamente posterior a las intrusiones del Complejo Supamo, ya que el mismo comprende la roca caja. Entre 100.000 m y 200.000 m del perfil la tectónica se complica, al igual que el aspecto composicional. Se observa que existe intercalación sub-vertical entre Complejo Supamo y rocas de algún CRV bastante heterogéneo. Es también allí donde probablemente existe una zona de sutura entre bloques de diferentes CRV, quizás es la zona de contacto entre Pastora y Botanamo que, dada la disposición del perfil, no se aprecia la disposición real de esta estructura. Esto podría ser mejor caracterizado con un perfil perpendicular. Sin embargo, una sección importante de un CRV cabalgó sobre otro, a través del sistema de fallas Marwani. Lateralmente, se aprecia alrededor de los 200.000 m del perfil, una zona de

transición entre estos dos o más CRV. El patrón de soluciones hasta 250.000 m es heterogéneo, encontrándose uno o más intrusivos de importante envergadura del Grupo Avanavero. Parece que las zonas propicias para la fractura fueron aquellas donde había intrusionado Supamo o su equivalente, quizás por la roca ser más joven y menos rígida, se facilitó el movimiento a través de los granitoides. Esta zona con la influencia de flujos de calor importantes generó la migmatización de las rocas, siendo probablemente el límite de las rocas migmatizadas una falla de corrimiento.

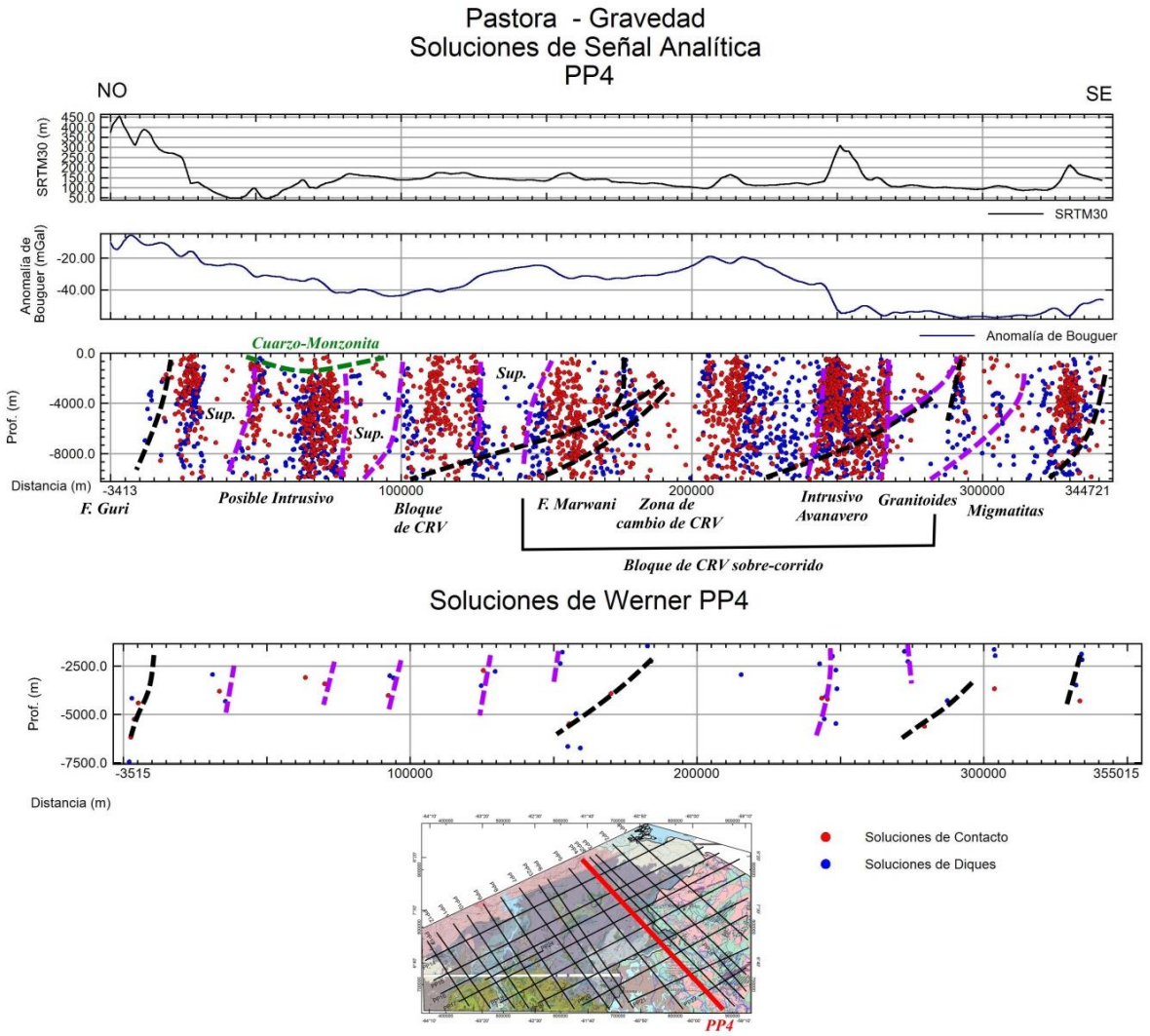


Figura 152. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP4, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

En el perfil PP26 (Figura 153) las soluciones reflejan características muy similares a los dos previos, mostrando un conjunto de alternancias entre litologías afines a CRV y en otras ocasiones al Complejo Supamo, asociación Avanavero, migmatitas, etc. Este perfil ha sido trazado para evaluar la continuidad de las litologías y estructuras entre los perfiles PP3 y PP4.

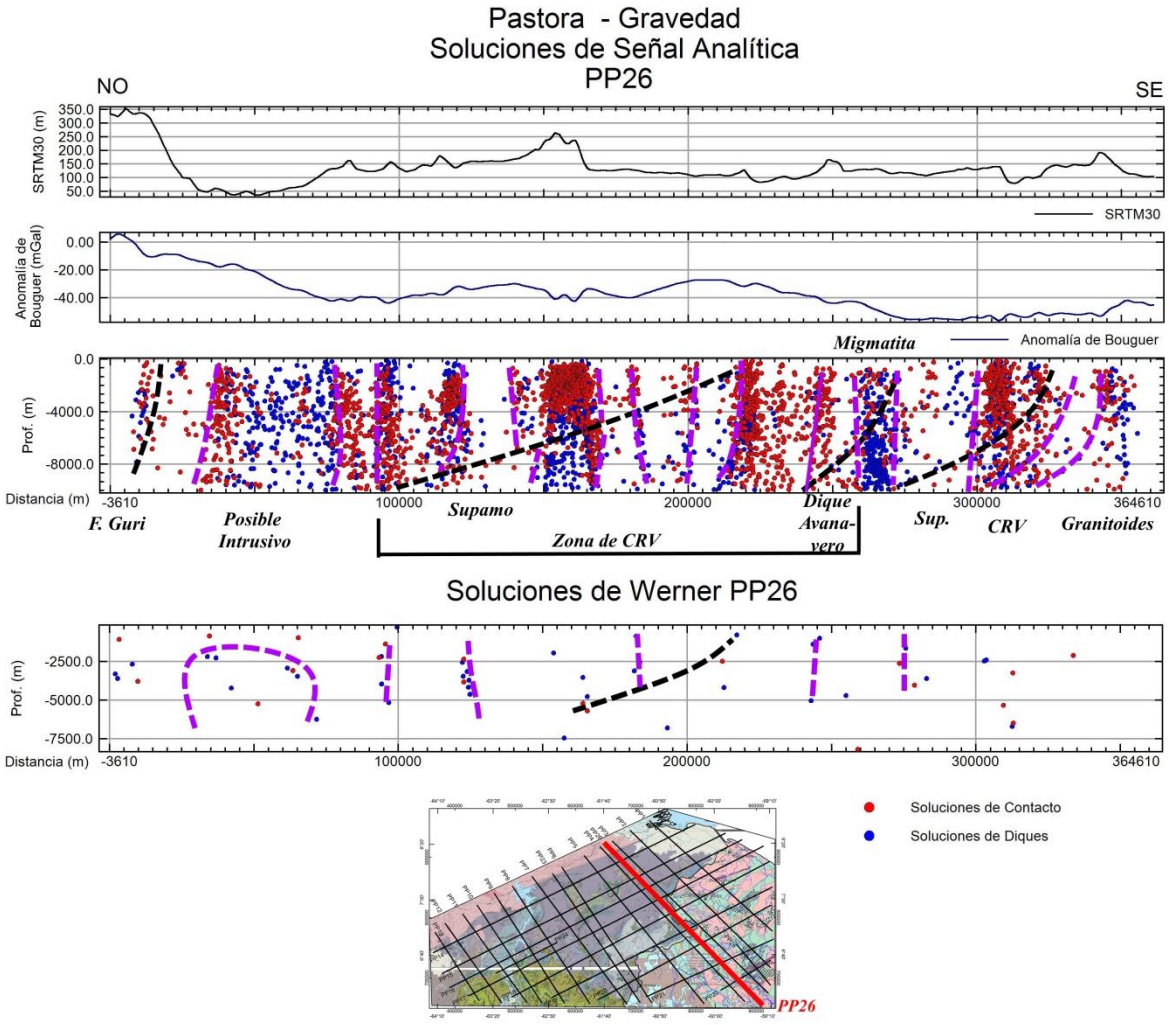


Figura 153. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP26, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

Las soluciones de Werner en este caso muestran lo que posiblemente es el tope del intrusivo inferido hacia el norte. En el perfil PP4 este tope también es observado, sin embargo, no es posible discriminar entre las soluciones debidas a contrastes verticales y a los causados por contrastes horizontales, y es por ende que fueron solo reflejadas las

variaciones verticales. De acuerdo con ambas figuras, el tope del posible intrusivo se encontraría a aproximadamente 2.500 m de profundidad.

El perfil PP5 (Figura 154) exhibe la alternancia característica de la provincia entre bloques de composición predominante de CRV y otros de rocas granitoides. En el centro se encuentra caracterizado por un sistema estructural de fallas invertidas, que probablemente fueron sistemas normales durante la apertura del mar de Pastora, y posteriormente invertidas y cortadas por un sistema de corrimiento regional. El cuerpo intrusivo observado hacia el NO podría guardar relación con el descrito en los perfiles previos, pero no necesariamente consiste en la misma composición ni origen. Este se encuentra ubicado por debajo de un conjunto de diabasas de forma particular, y el flujo de calor originario quizás modificó la litología infrayacente en una geometría que se asemeja a un cilindro. El Complejo Supamo consistió en la roca caja de este intrusivo particular.

De las interfases denotadas, la que se encuentra en la parte central entre 150.000 m y 200.000 m del perfil podría corresponder a la base del conjunto de metalavas y metatobas que afloran (Xm2), y entre 200.000 m y 300.000 m con la base del Supergrupo Roraima. Los cuerpos plutónicos asociados al Grupo Avanavero parecen poseer dimensiones considerables, o al menos, su área de influencia por metamorfismo. A nivel cortical, la zona norte de la provincia es mayoritariamente compuesta de granitoides, mientras que el sur podría ser dominado por rocas afines a los CRV. Los canales de ascenso del Complejo Supamo son de mayor envergadura hacia el norte que hacia el sur, y su espesor supra-cortical también. Las estructuras que corren en dirección NNE-SSO sugieren ser más recientes que la formación de la provincia en conjunto, dado otro régimen tectónico que difiere de la disposición de las estructuras cuando se formó el mar de Pastora. Donde se encuentran las metalavas aflorantes, se observa predominancia de sistemas estructurales, sugiriendo que la actividad magmática que las originó es probablemente del período de formación de los CRV, previa a Supamo. En algunos casos se observa canales de ascenso, pero se encuentran por debajo de otras litologías ligeramente más recientes.

Las soluciones de Werner en este caso solo muestran una característica adicional, que podría corresponder con algún sistema estructural o gradación de composición interna a Supamo alrededor de los 100.000 m del perfil hasta 5 km de profundidad.

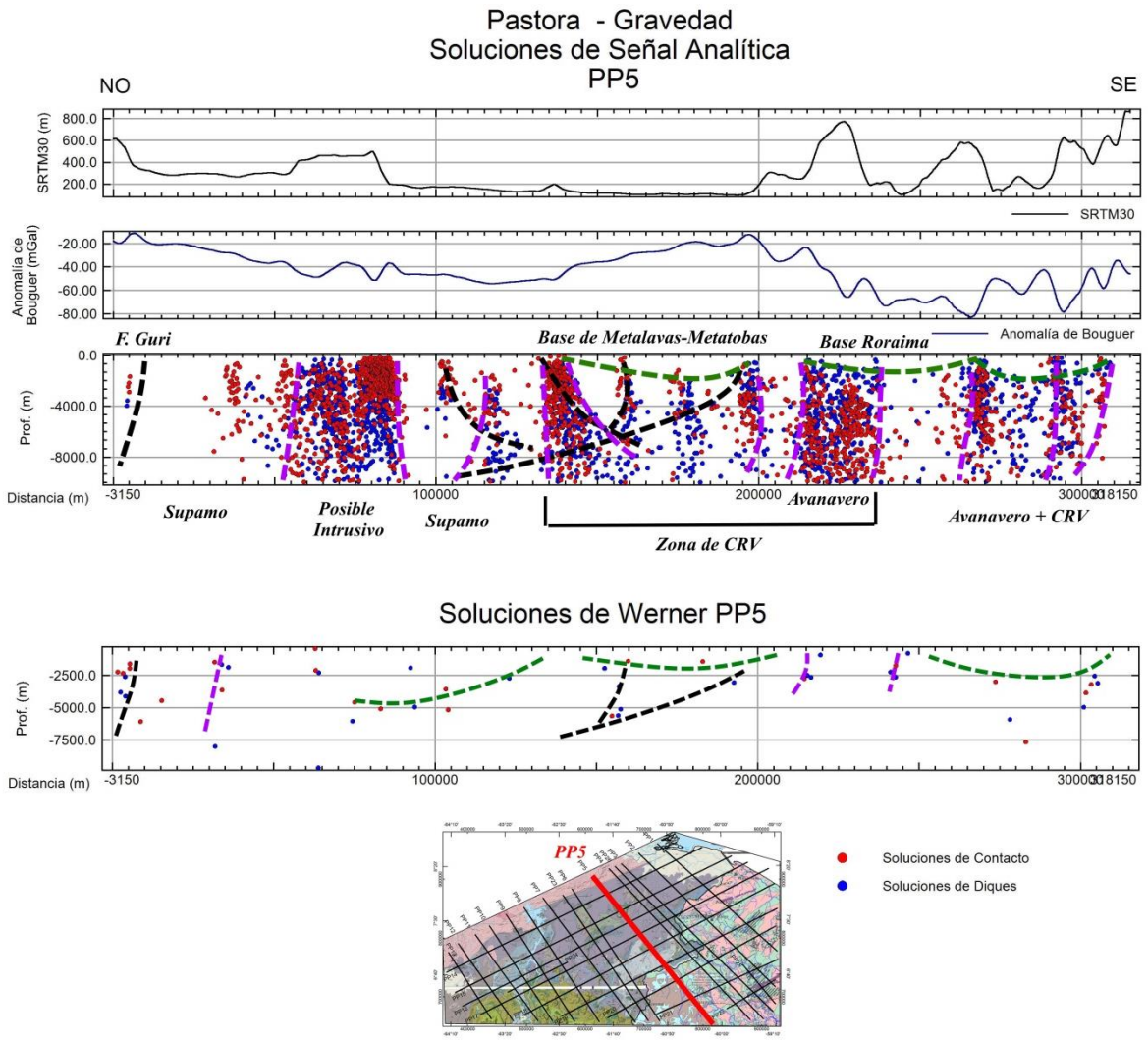


Figura 154. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP5, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

El perfil PP6 (Figura 155) revela algunas características importantes hacia el sur de la provincia entre 200.000 m y 260.000 m del perfil, intervalo en el cual se observa vestigios de cambios horizontales internos a los CRV (líneas de guiones verdes), que a su vez se encuentran fallados y cortados por rocas intrusivas del Grupo Avanavero (líneas de guiones morados), y limitados hacia el norte por un bloque compuesto de otro o el mismo CRV. Entre ambas respuestas se encuentra un intrusivo de granitoides. Entre 100.000 m y 200.000 m se observa la base del Supergrupo Roraima, a aproximadamente 2,5 km de profundidad, estando el mismo intervalo compuesto corticalmente por una sección de CRV, Complejo Supamo (separados por el contacto intrusivo o sistema de falla, no está claro) y

un cuerpo intrusivo a Supamo de composición posiblemente cuarzo-monzonítica de acuerdo a lo que el mapa geológico infiere.

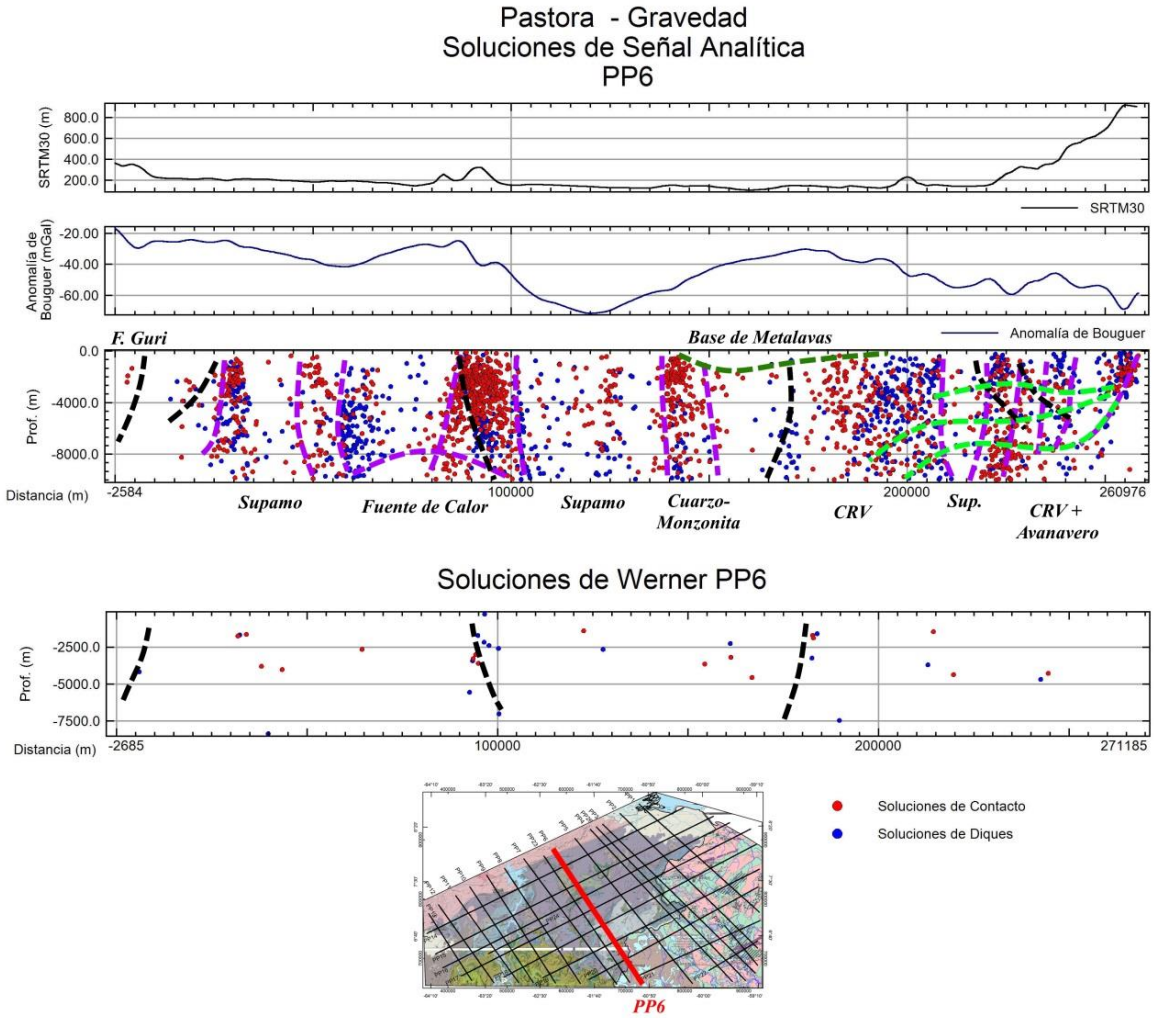


Figura 155. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP6, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

Posteriormente, entre 0 m y 50.000 m del perfil, limitado al norte por la falla de Guri, se encuentra una composición cortical mayoritariamente del Complejo Supamo. Entre 50.000 m y 100.000 m es probable que haya existido una fuente de calor importante que modifico la estructura interna de la corteza, generando lo que parece ser un bloque intrusivo de tamaño considerable, que parece tener una zona de influencia de metamorfismo de contacto bastante extensa corticalmente. En rasgos tectónicos generales, el sur de la provincia en estas longitudes no parece percibir en gran proporción el régimen tectónico compresivo y

hacia el norte se evidencia algún tipo de sistema extensivo-transtensivo que origina una especie de graben.

De acuerdo con los mapas interpretados anteriormente esto es muy evidente en el occidente de la provincia, no solo de zonas extensivas, sino también zonas de altos estructurales alternados. Este perfil, dada su ubicación, es el primero que refleja esta conducta y evidencia el cambio de patrón estructural respecto al que se venía observando en el noreste de la provincia. En este perfil, debido a su disposición, al menos un (1) graben es observado. No está totalmente claro si es un semi-graben o se encuentra el graben completo, debido a que la respuesta de la cuarzo-monzonita encubre las respuestas de las fallas. También es incierto el límite norte del graben, pero se estima que se encuentra entre los 120.000 m y 140.000 m del perfil.

Un poco más al sur fue trazado el perfil PP7 (Figura 156), cuya configuración muestra hacia el noroeste, un conjunto de sistemas de fallas y cambios de composición cercanos a la zona de pivote de Imataca. Entre 0 m y 50.000 m la composición es muy variable y existen sistemas de retro-corrimiento. Más al sur, entre 50.000 m y 110.000 m se encuentra un bloque de composición Supamo cortado por un sistema de fallas que corren por un bajo estructural con intrusiones de diabasas. La configuración a partir de esta distancia se complica, con sistemas de fallas pertenecientes probablemente al flanco noroeste de un sistema de rift y cambios de composición asociados a intrusiones de gabros y rocas ultramáficas pertenecientes a CRV, pequeñas porciones de altos estructurales revelados por la erosión. El bloque de metavolcánicas en 150.000 m consiste también en un alto estructural producto de un intrusivo a los CRV, a pesar de que la zona se encuentra en una zona de rift. Estas fallas normales posteriormente fueron invertidas, y por ende, estos altos cambiaran de disposición. La zona a partir de los 200.000 m del perfil revela algunas interfases que representan el fallamiento y los cambios de composición en el eje vertical internos a los CRV, aparece una falla principal (que primero pudo ser normal y luego convertida a falla inversa) que corta al o los CRV. La mayoría de las estructuras se encuentran en el intervalo correspondiente al Complejo Supamo, que conforma la roca suprayacente. Parecen estructuras bajo las cuales el intrusivo presentaba dificultades para

alcanzar la superficie, generando fracturas hacia los laterales por la cantidad inmensurable de magma ascendente.

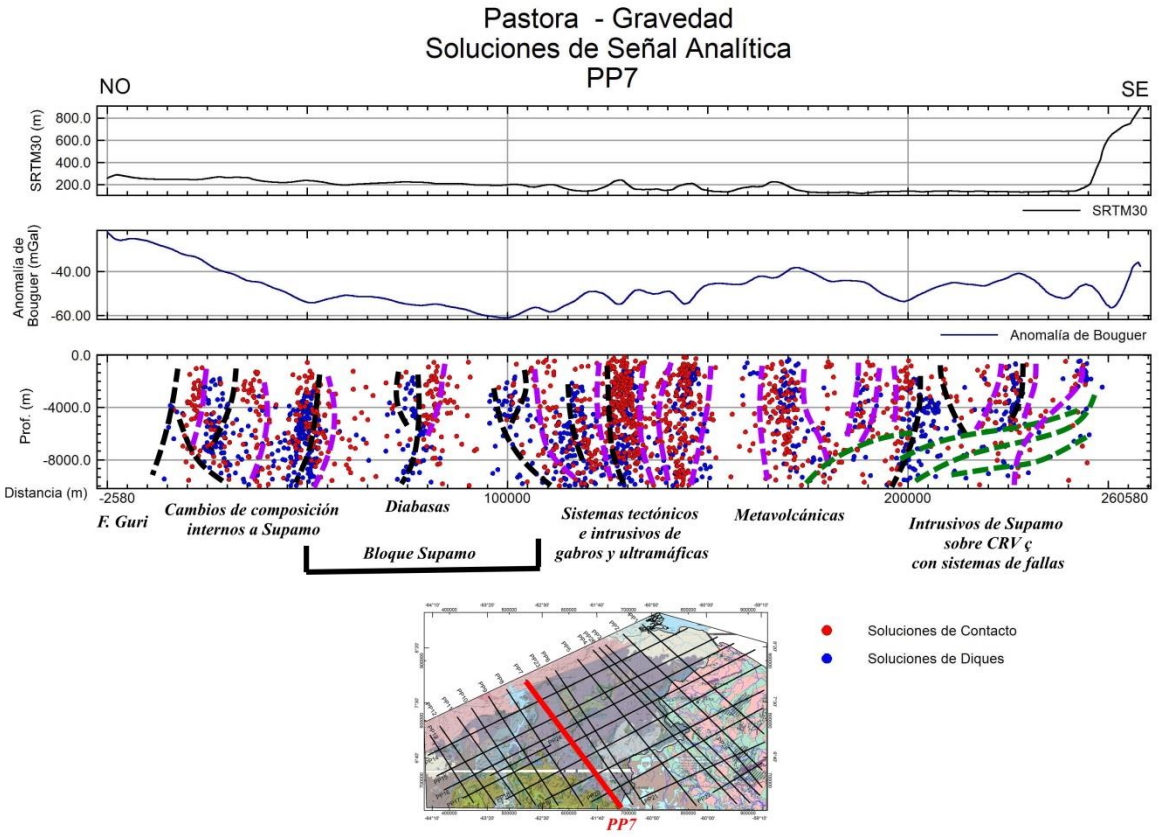


Figura 156. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP7, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

En este perfil se evidencia, además, que las principales fuentes de ascenso magmático, o al menos, las cámaras de mayor amplitud se encontraron hacia el norte de la provincia, cerca del límite con Imataca (o lo que fuese limítrofe en ese momento). La limitación del material a continuar ascendiendo permitió que el complejo tuviese una amplia extensión. Mientras el material ascendía y se desplazaba lateralmente, las rocas de los CRV fueron sufriendo procesos metamórficos. Es por ello que, en las soluciones, por debajo de las rocas alteradas y metamórficas de los CRV, se observan algunas interfases sub-horizontales, semejantes a paquetes de rocas formados en un margen extensivo. En este perfil se observan al menos dos (2) CRV o un (1) CRV fracturado por un sistema de rift, donde la intrusión de Supamo nunca permitió que volviesen a estar en contacto ambas mitades, a pesar de la inversión

tectónica posterior. El primer CRV o primera mitad consistiría en la sección entre 100.000 m y 150.000 m aproximadamente, el segundo CRV o segunda mitad a partir de los 200.000 m hacia el sur, probablemente hasta su contacto con Caicara. No se descarta que existan más CRV hacia el sur, pero debido al alcance de este estudio y del perfil, no es posible observarlos.

La Figura 157 muestra las soluciones calculadas en el perfil PP23, el cual se encuentra ubicado entre los perfiles PP6 y PP7 con el objetivo de observar la continuidad de algunas estructuras. Hacia el norte del perfil las estructuras sugieren ser similares a las observadas en el perfil PP6. Se continúa observando que existen dos (2) bloques de CRV separados por intrusivos del Complejo Supamo. La interfase que dibuja la base de las rocas metavolcánicas se encuentra en este perfil a menor profundidad promedio, alcanzando máximo 2 km de profundidad. En el perfil PP7 esta interfase se encuentra a muy poca profundidad, menor a los 1.000 m, lo que quiere decir que la zona de ascenso de magma debe encontrarse más al noreste de la provincia, dirección en la que adquiere espesor esta capa. Los intrusivos de Avanavero presentan diversas dimensiones, siendo la más representativa en este perfil las diabasas ubicadas del lado venezolano.

El sistema estructural predominante hacia el sureste consiste probablemente en una falla normal invertida, ubicada a los 200.000 m del perfil. De igual manera que en los perfiles anteriores, las fallas de menor envergadura parecen afectar primordialmente al Complejo Supamo.

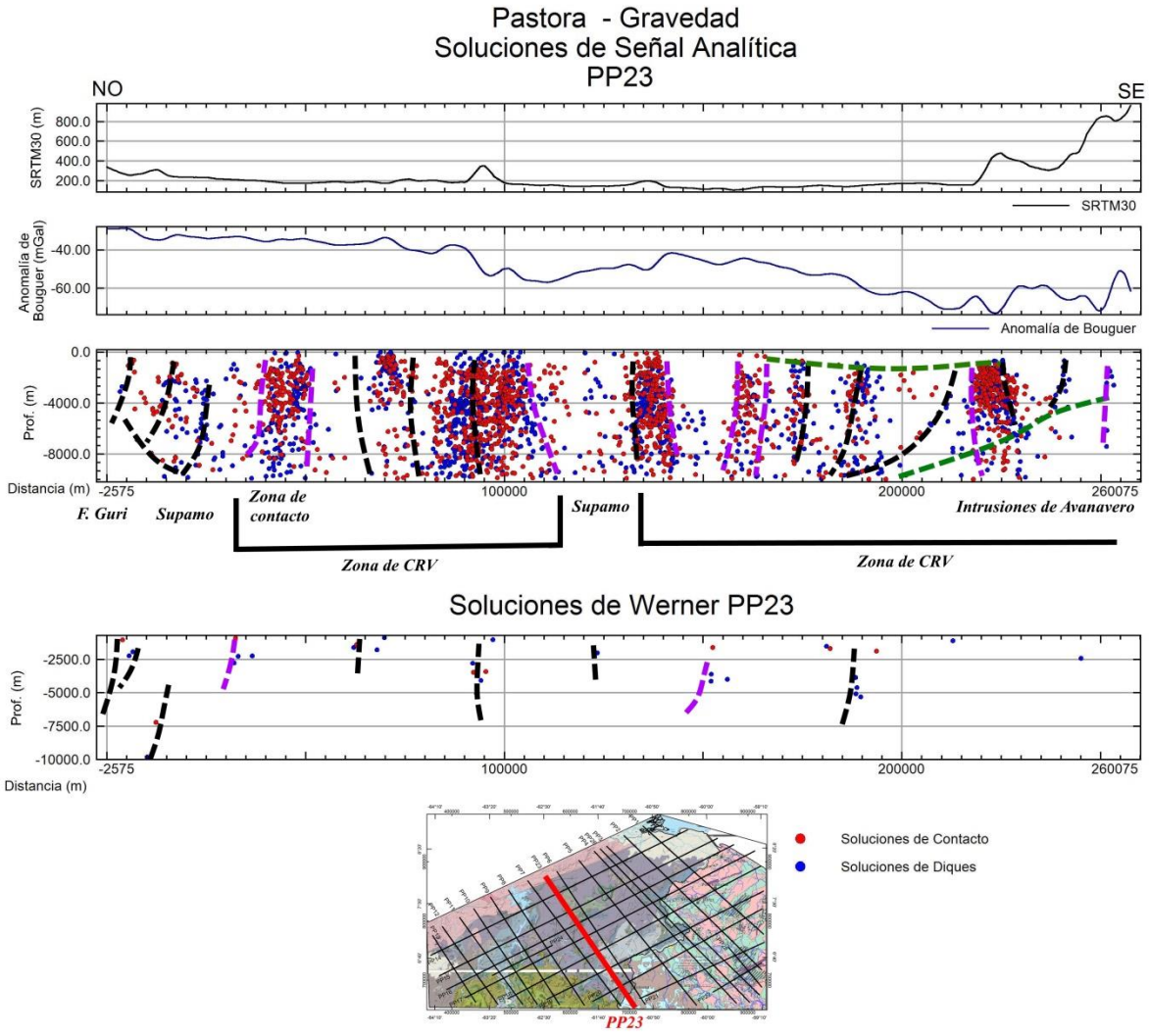


Figura 157. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP23, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

El perfil PP8 (Figura 158) muestra gran complejidad tectónica hacia el oeste de la provincia. Es la zona que comienza a mostrar la naturaleza del contacto entre Pastora y Cuchivero. Aunque el perfil no se encuentra sobre el contacto, la estructura cortical y la disposición de los bloques cambian notablemente. Si bien se observa un sistema disruptivo en el centro del perfil, hacia el noroeste, entre 50.000 m y 100.000 m se evidencia levantamientos de CRV producto de dos factores: a) intrusiones recurrentes de cuarzo-monzonitas, probablemente asociadas a algún sistema de subducción antiguo, previo a Supamo y Cuchivero; b) zona de cambio estructural en Imataca, que hace la tectónica más compresiva.

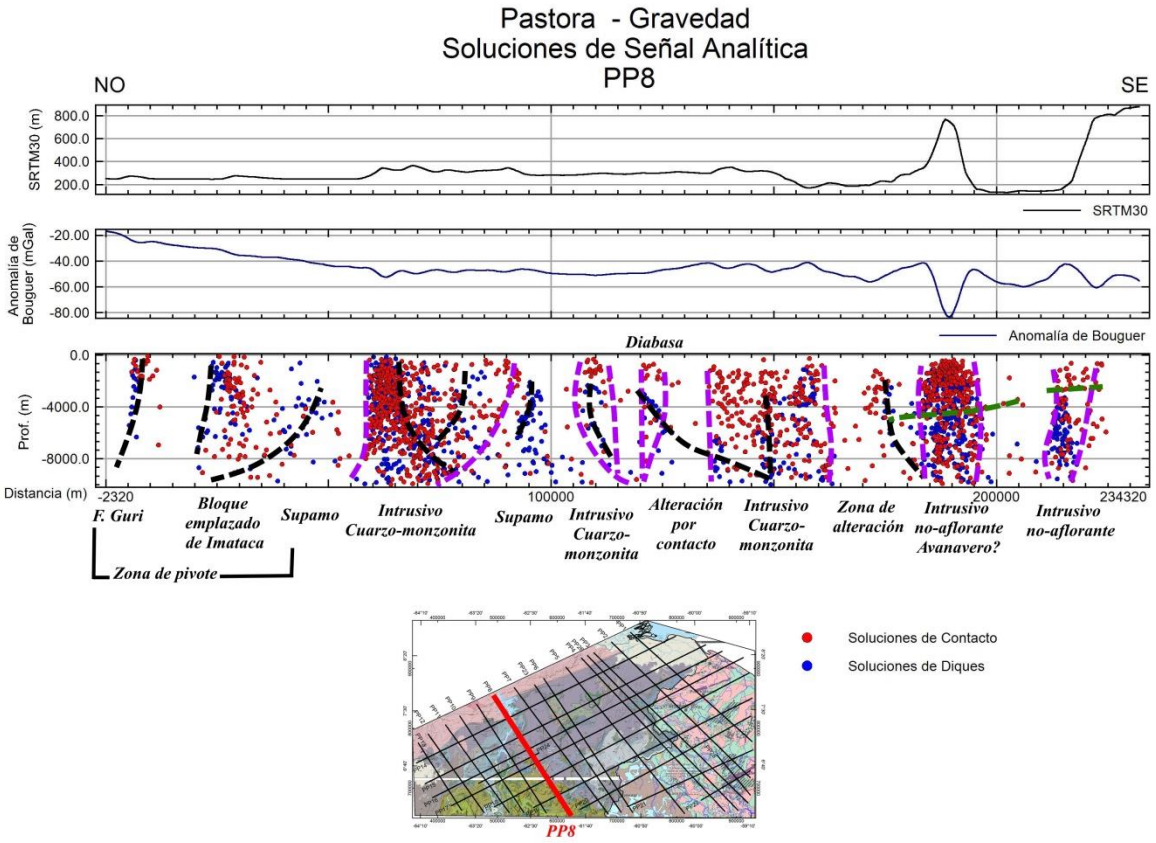


Figura 158. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP8, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

En el extremo noroeste, al sur de la falla de Guri, la zona de pivote muestra un bloque de Imataca sobrecorrido al Complejo Supamo, siguiendo hacia el sur con un conjunto de fallas paralelas al sistema. El cambio estructural principal ocurre alrededor de los 100.000 m del perfil, donde el buzamiento de las fallas cambia. Esto refleja al menos dos episodios tectónicos: a) compresión entre Imataca y Pastora posterior a Supamo, donde se crean sistemas de corrimiento paralelos o semi-paralelos a la falla de Guri (al menos hasta los 100.000 m del perfil); b) sistema extensivo (probablemente local intra-continental) que genera un conjunto de altos y bajos estructurales, y forma fallas con buzamiento contrario a Guri que cortan los sistemas previos (desde los 50.000 m del perfil). El último episodio podría corresponder a zonas rift tras-arco durante subducción en el margen occidental. El arco tuvo que corresponder con una sección de CRV previamente intrusionados y levantados que les permitiese cierto grado de engrosamiento cortical y disminución de su

densidad, evitando que fuese la losa de subducción. Al crearse la sutura entre las provincias Pastora y Cuchivero, las estructuras extensivas que se habían creado se invirtieron, y comenzó la migración del margen hacia el suroeste.

En el perfil PP9 (Figura 159) la falla de Guri pierde influencia, su proyección en el conjunto de soluciones parece corresponder solo con su componente de movimiento rumbo-deslizante. No obstante, el conjunto de estructuras que se observan hacia el sur de la misma persisten en la tendencia de corrimiento en el límite de la provincia Imataca, estando el bloque posiblemente intrusionado y cabalgado sobre una sección de Supamo, que a su vez se encuentra sobre-corriendo a una franja de metamorfismo, que por su disposición y composición podría ser producto tanto del metamorfismo de contacto como del tectónico. Al sur de la franja, continua una sección importante de Complejo Supamo (entre 50.000 m y 100.000 m del perfil) que presenta estructuras internas de fallamiento inverso, acompañado de una posible intrusión de composición desconocida. A partir de los 100.000 m del perfil, la configuración cortical es diferente, siendo mayoritariamente de afinidad a los CRV, reforzando la hipótesis de que el complejo afectó principalmente el paleo-norte de la provincia.

El CRV o la parte de CRV que se encuentra alrededor de los 100.000 m se encuentra en corrimiento sobre otra de similar naturaleza. Sin embargo, la estructura que presenta el bloque sur, entre 130.000 m y 200.000 m del perfil, muestra una variabilidad vertical que no se observa en el primer caso. El bloque del norte se encuentra afectado intensamente por intrusiones previas al corrimiento y posteriores al corrimiento, es decir, algunas son de la etapa de formación del CRV y otras son de la etapa de alteración. Entre ambos bloques, entre 120.000 m y 150.000 m aproximadamente, los CRV se encuentran cubiertos por rocas del Complejo Supamo, con espesor máximo aproximado de 4 km. La variación que se observa de líneas de guiones verdes internas al CRV del sur pueden corresponder con la configuración original de formación, variaciones producto de la alteración, o una combinación de ambas, siendo esta última la más probable.

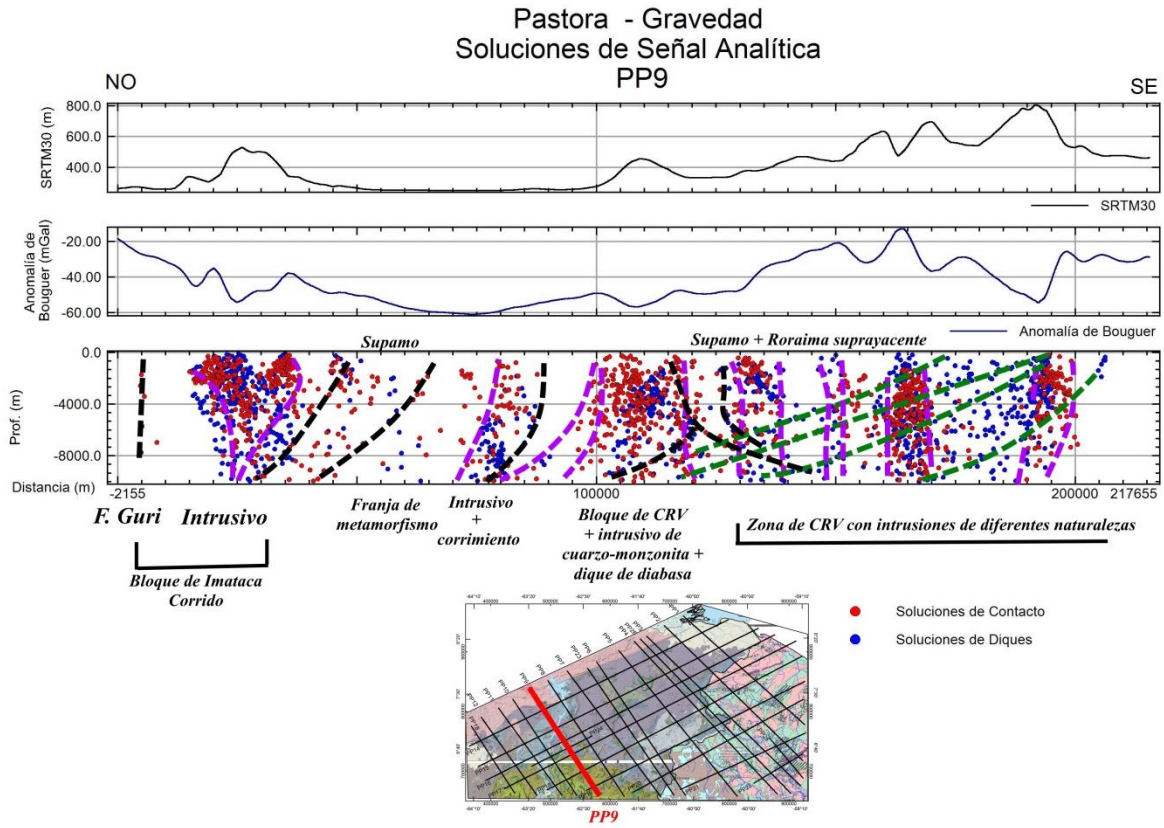


Figura 159. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP9, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

La sección que se analiza a su vez se encuentra afectada por un conjunto de intrusivos, posiblemente de la asociación Avanavero, que cortan todos los cambios de composición, indicando que son posteriores a los eventos tectónicos originarios. Las fallas que cortan a las intrusiones son de otro evento diferente al aglutinador, probablemente de la etapa de interacción con la provincia de Cuchivero.

Ya el perfil PP10 (Figura 160) se encuentra más cerca de la zona de contacto entre Pastora y Cuchivero, y a medida que esto ocurre, la presencia a nivel cortical de los CRV se hace más preponderante, ocupando aproximadamente un 70% de la Figura 160. Por ende, en la zona de sutura, el contacto probablemente ocurra entre los CRV y Cuchivero. Existe una disposición arqueada de este contacto con concavidad hacia el suroeste.

Hacia la parte noroeste del perfil, se interpreta una falla de corrimiento de muy bajo ángulo, que cizalla fallas preexistentes, en una zona configurada por Imataca hacia el norte y Complejo Supamo hacia el sur en la parte inferior a la falla, y por Complejo Supamo en la parte superior junto a un pequeño bloque de retro-corrimiento de Imataca. A partir de los 40.000 m aproximadamente, la composición cortical sugiere ser predominantemente perteneciente a CRV, aun cuando existen pequeños sectores donde pudo haber penetrado Supamo.

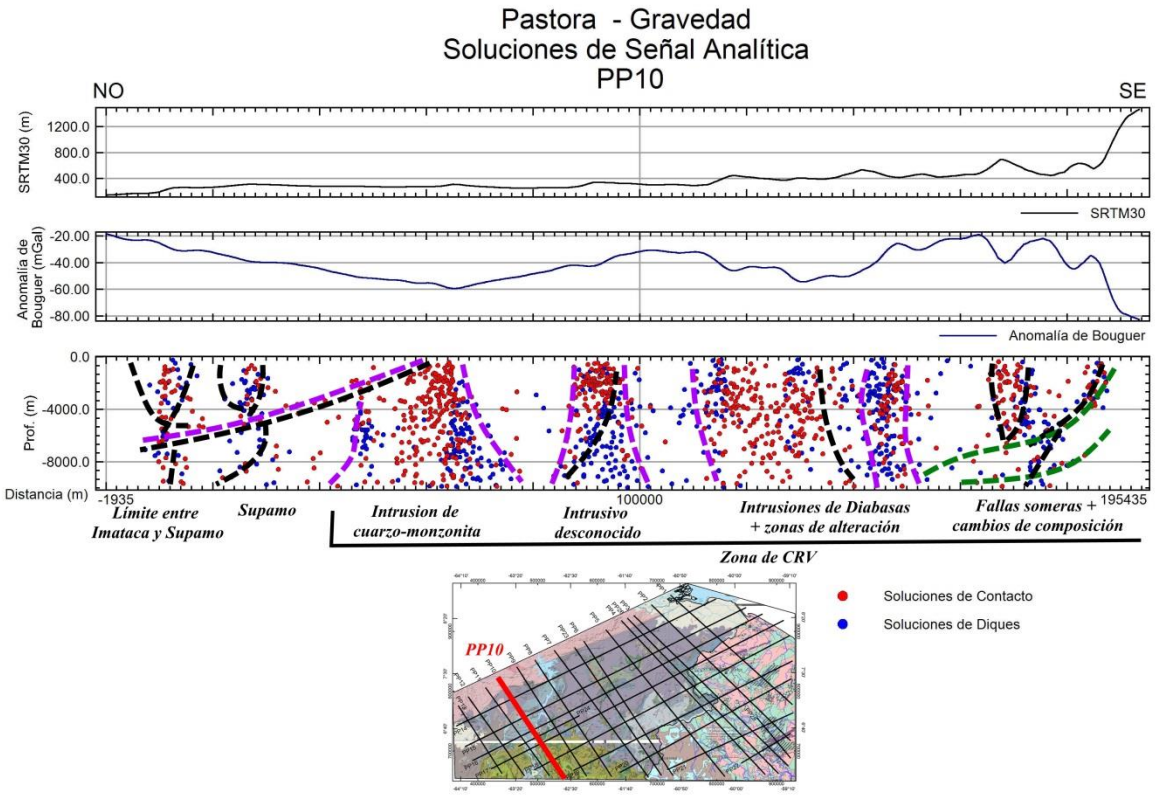


Figura 160. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP10, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

La zona exhibe intrusiones de gran variedad, desde cuarzo-monzonitas antiguas emplazadas en los CRV en etapas tempranas, hasta diabasas de períodos tardíos, con amplias zonas de alteración por contacto que alteraron las características de la provincia. Hacia el tope de los intrusivos, es común observar rocas aflorantes correspondientes a alteración metamórfica, en una zona moderadamente fallada. Es probable que existan muchas más fallas de las que

se aprecian, pero la masividad de los cuerpos y la escasez de contrastes de densidad impide que otros sistemas sean caracterizados.

Hacia el sureste, la sección exhibe rasgos similares a los perfiles anteriores, donde algunas interfases internas a los CRV muestran soluciones. En términos generales, aun cuando existen altos y bajos estructurales, todo el perfil corresponde con una sección de CRV levantados en conjunto producto de la interacción con la provincia de Cuchivero.

En el perfil PP11 se encuentra el cierre de las estructuras extensivas (Figura 161). Hacia el sureste el conjunto de estructuras revela un sistema extensivo que sufrió inversión durante un episodio tectónico compresivo. La mayoría de las estructuras se encuentran en rocas de composición afín a los CRV, afectadas intensamente por intrusiones de diferente composición de diferentes temporalidades, como las cuarzo-monzonitas y las diabasas. Al norte de la sección, las rocas de Supamo se encuentran corridas al basamento de CRV. La columna completa en este sector se encuentra intrusionada por un cuerpo de composición desconocida, probablemente similar a Supamo, en el límite entre las provincias de Imataca y Pastora. La morfología vista en planta de esta parte del límite entre las fronteras es producto de retro-corrimientos. El descenso del valor de la anomalía de Bouguer hacia el extremo sur puede ser causado por el peso de la provincia Roraima. Por contrario, hacia el centro del perfil el descenso de la gravedad se asocia al antiguo eje de extensión (rifting) con una intrusión asociada.

Es complicado asegurar que la ubicación y disposición de las fallas es inefable, consiste en la representación de la interpretación de acuerdo a las soluciones que revela la herramienta de señal analítica. Las soluciones entre 30.000 m y 80.000 m aproximadamente son aleatorias y por ende no se observan patrones claros. De acuerdo a las rocas que afloran en el sector, se infieren que forman parte de intrusiones que ocurrieron dentro de los CRV. En este perfil los dos bloques de CRV o los dos CRV que se encontraban separados en los perfiles anteriores, están en interacción representando el cierre del sistema por la proximidad con la sutura.

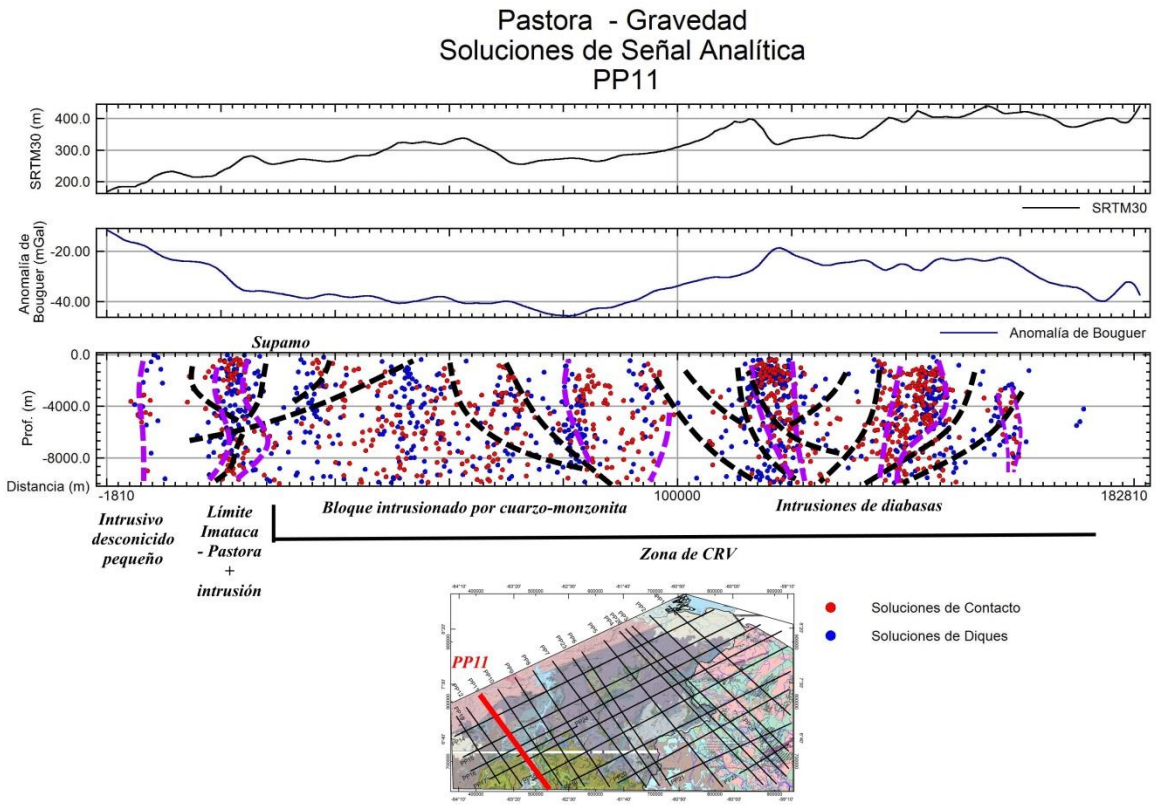


Figura 161. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP11, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

El perfil PP12 continúa mostrando el sistema de rift invertido en el bloque cortical correspondiente a los CRV (Figura 162). Hacia el sureste, un pequeño intrusivo es observado que puede corresponder al Grupo Avanavero, debido a lo somero que el mismo alcanza.

Hacia los 100.000 m del perfil, en el centro de la actividad del rift, se observa que existe un intrusivo de gran tamaño, que a su vez fue intrusionado posteriormente por diques de diabasas, es probable que el mismo consista en cuarzo-monzonita, ya que se encuentra ubicado en el sentido del afloramiento de dichos intrusivos en áreas aledañas. Hacia el sur, la interfase que se observa podría corresponder a la base del Supergrupo Roraima; hacia el centro del perfil, podría coincidir en parte con el espesor de las volcánicas de Caicara, y en la depresión de la interfase, un bloque de Supamo parcialmente corrido sobre estas rocas volcánicas. El intrusivo que se observa dentro del bloque correspondiente a Supamo se infiere debido al afloramiento de rocas alteradas esquistosas, probablemente cuarzo-

monzonita. Supamo es, en este sector, la parte más superficial de la corteza, un pequeño bloque intrusivo y corrido sobre los CRV. Esto se interpreta debido al afloramiento de gabros más antiguos pertenecientes a los cinturones.

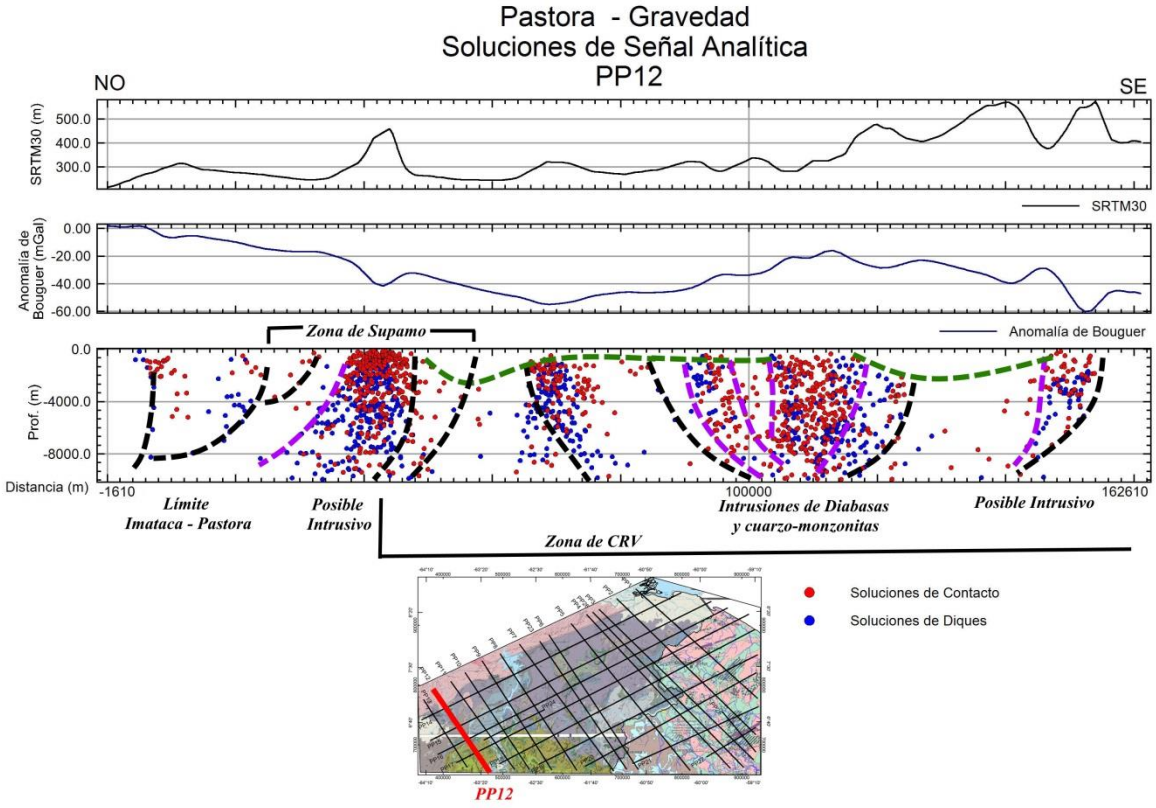


Figura 162. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP12, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

Más al oeste, el perfil PP13 no presenta el sistema de rift estructuralmente, sino que muestra cambios de composición internos a los CRV, posiblemente debido a que la zona se acerca a la sutura (Figura 163). Las interfases que se aprecian son las mismas descritas en el perfil anterior, alcanzando mayor espesor principalmente la capa de volcánicas de Caicara. Los rasgos estructurales hacia el NO del perfil evidencian una interacción compresiva cortada por un sistema de poco desplazamiento rumbo-deslizante, que libera de cierto modo la matriz de esfuerzos. Los cambios de composición a lo largo de todo el perfil corresponden a cuerpos intrusivos variables en composición junto a zonas de alteración por contacto a lo largo de la columna cortical.

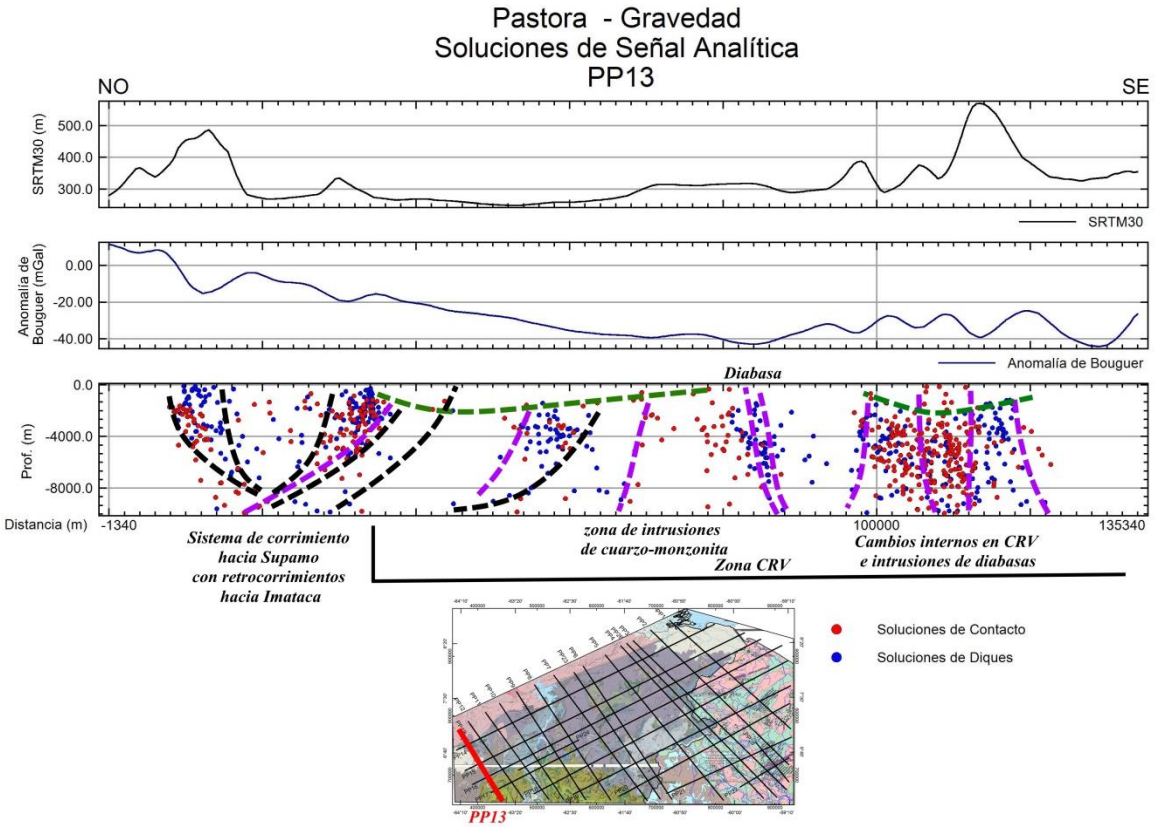


Figura 163. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP13, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

El perfil PP14 es el primero de los dispuestos transversalmente en dirección SO-NE que atraviesa por completo la provincia de Pastora (Figura 164). En el mismo, ubicado en el límite norte de la provincia, se observan numerosos cambios de composición, principalmente atribuibles a la alternancia entre CRV y rocas del Complejo Supamo. Hacia el SO del perfil, el sistema estructural que caracteriza al sector de contacto entre Pastora e Imataca presenta numerosas fallas de corrimiento y retro-corrimiento con intrusiones y cuerpos de rocas de diferentes composiciones, donde no se alcanza a observar la disposición de la antigua losa subductante.

A partir de los 100.000 m todo el perfil alterna entre rocas Supamo y partes pertenecientes a los CRV, con algunos intrusivos internos a estos últimos que denotan cambios de composición muy probablemente ocasionados durante su formación y posterior aglutinamiento. Esta gran variabilidad es primordialmente reflejada en los primeros 10 km de corteza ya que, a partir de esta profundidad, las condiciones de temperatura y presión

modifican la configuración cortical, y solo algunas estructuras (las más regionales) persisten. Las soluciones de Werner por otra parte muestran las respuestas más significativas en los primeros kilómetros de corteza. En aquellos lugares donde el contraste de densidad es abrupto. Dentro del Complejo Supamo existen cambios de composición producto probablemente de la gradación lateral de las rocas intrusivas que lo componen junto a intrusivos de periodos posteriores.

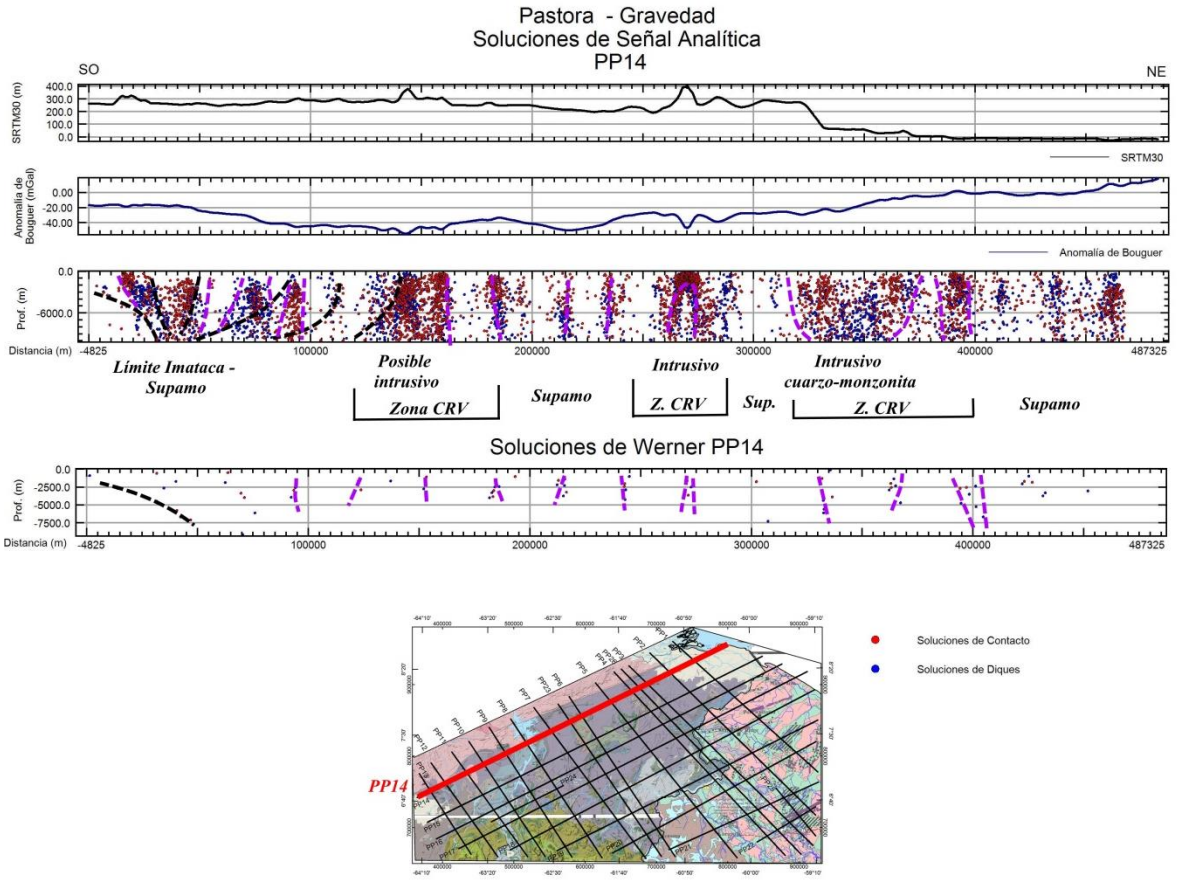


Figura 164. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP14, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

En el perfil PP15 la variabilidad y complejidad estructural es mayor, estando ubicado cerca de la parte central de la provincia del lado venezolano (Figura 165). Las soluciones de Werner tienden a validar los contrastes observados en las soluciones de señal analítica, principalmente, al igual que el perfil anterior, donde los mayores contrastes están presentes.

Hacia el suroeste algunos espesores máximos aproximados son interpretados para las volcánicas de Caicara y para las intrusivas de Supamo, 2 km y 4 km respectivamente. Es común observar que sistemas de fallas corten cuerpos intrusivos y viceversa, ya que la actividad magmática está ligada a la actividad tectónica. Entre 0 m y 200.000 m del perfil la configuración consiste en una serie de altos estructurales de composición CRV alternados con bajos de densidad en composición cortical de Complejo Supamo. Cabe destacar que las cuarzo-monzonitas son internas a los CRV, y que, por ende, la extensión de los bloques de CRV no necesariamente coinciden con la geometría de estos intrusivos.

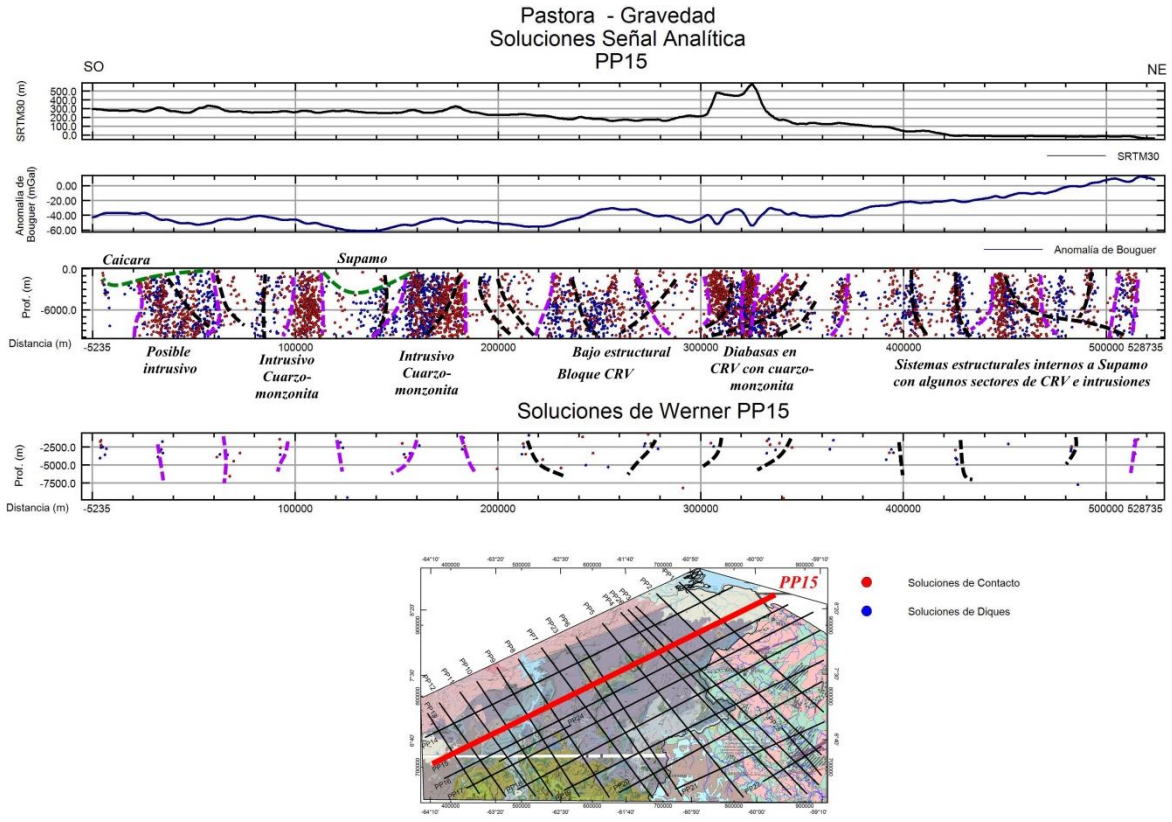


Figura 165. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP15, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

Salvo algunos sectores donde se observan canales de ascenso de Complejo Supamo, la mayoría de la corteza a partir de los 4 km de profundidad debe estar compuesta por diferentes CRV amalgamados y alterados por intrusivos. En este perfil, el mayor espesor de Complejo Supamo se encuentra hacia el NE, aunque no se puede discernir la profundidad a la cual está la interfase de los CRV, sobre todo entre 400.000 m y 500.000 m.

Al menos dos (2) sistemas extensivos e invertidos se observan, uno de mayor extensión que el otro. El más grande, entre 200.000 m y 400.000 m, de composición variable y con altos estructurales asociados a CRV afectados por posteriores intrusiones de diabasas y cubiertos previamente por Complejo Supamo. En este caso los canales de ascenso de Supamo tuvieron que ser las fallas normales invertidas durante una etapa de inversión del sistema, que permitiese la cualidad silícea del magma. El segundo y más discreto entre 50.000 m y 150.000 m, con comportamiento similar al anterior, pero con fallas más verticales y con mayor influencia de compresión, probablemente debido a su cercanía con la sutura al oeste.

El perfil PP16 (Figura 166), hacia el NE entre 350.000 m y 500.000 m, muestra un bloque heterogéneo asociado a rocas de CRV con sistema tectónico dominante similar a los sistemas de falla interpretados. En la posición 400.000 m se observa un canal intrusivo del Complejo Supamo probablemente en una roca caja similar a las intrusivas compuestas de cuarzo-monzonitas. Las zonas de alteración por contacto de ambos eventos también son caracterizadas, siendo la más evidente la generada por la intrusión de Supamo. Sobre este bloque de CRV hacia el NE yace a su vez un espesor de Complejo Supamo que alcanza máximo 2.500 m aproximadamente, infiriendo que al momento de intrusión este bloque probablemente se presentaba como un alto estructural.

Entre 250.000 m y 300.000 m un bloque de CRV se encuentra aislado debido a intrusiones circundantes de Complejo Supamo. La frontera sur del mismo se encuentra caracterizada, ya en Supamo, por un sistema de rift afectado por intrusivos de diabasas. Entre 100.000 m y 150.000 m otro sistema extensivo se encuentra presente, separado del anterior por un alto estructural de composición compartida. Es probable que Supamo ya hubiese intrusionado cuando este rift se formó, debido a que el alto presenta composición de CRV y Supamo a la vez, diferenciables por la cantidad de soluciones que presentan las rocas CRV en contraste con las de Supamo. Ya entre 100.000 m y 0 m comienza a observarse el espesor de las volcánicas de Caicara, marcada con línea de guiones verdes, que alcanza un espesor máximo de aproximadamente 6 km. Esto sugeriría que la zona de sutura se encuentra cerca del límite suroccidental del perfil. En este sector, los CRV se hacen más profundos, y la columna cortical es cortada por intrusiones de diabasas en períodos sincrónicos o posteriores a la sutura.

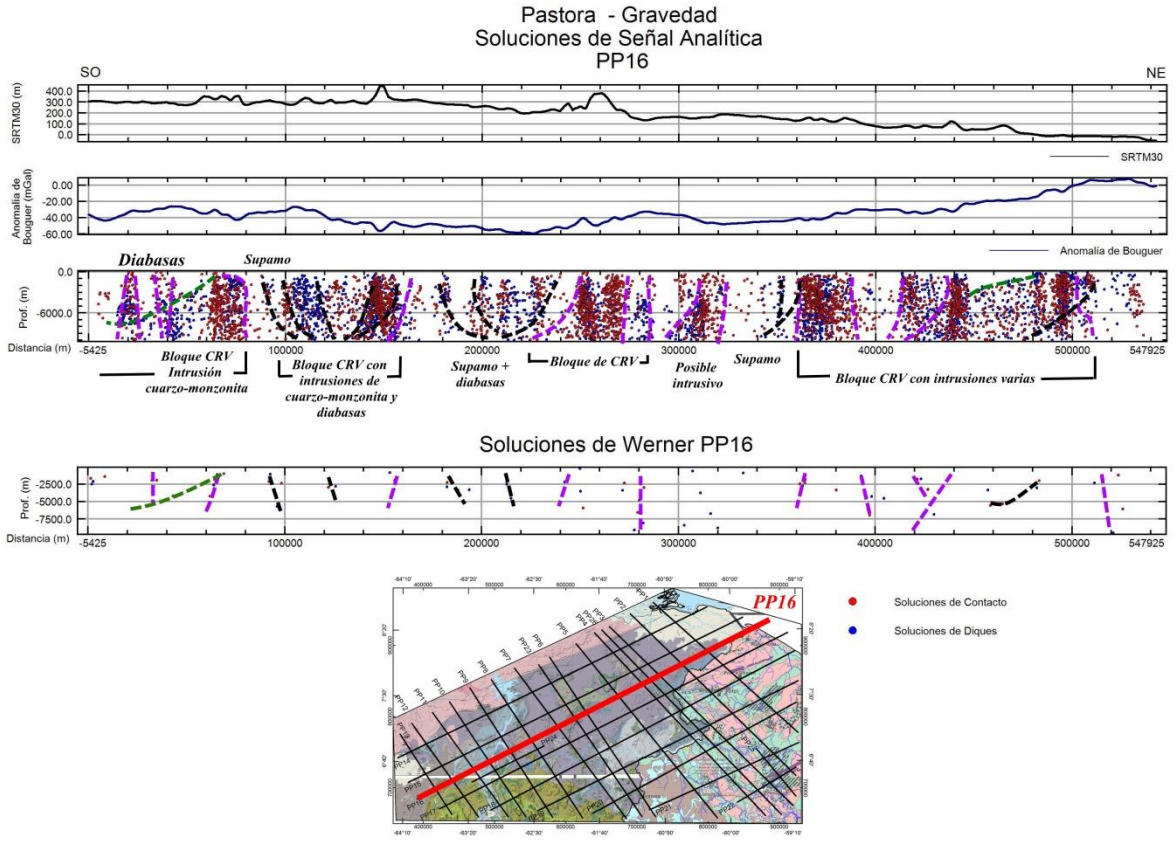


Figura 166. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP16, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

El siguiente perfil, PP17 (Figura 167), soporta las hipótesis planteadas en los análisis descritos hasta el momento en un sinfín de características, al estar dispuesto transversalmente a toda la provincia cortando casi perpendicularmente las principales estructuras y cambios de composición. El análisis de este perfil será abordado de manera más detallada y precisa, por la gran cantidad de rasgos presentes, de la siguiente manera:

Intervalo de 0 m a 100.000 m: comprende una región en la cual la composición afín a CRV se encuentra levantada y alterada por procesos intrusivos de diabasas y probablemente cuarzo-monzonitas (Q-M en el perfil). Las interfases de color verde allí indicadas representan cambios de composición en profundidad, correspondiendo el más somero con la base del Supergrupo Roraima, y los más profundos a cambios internos a los CRV previos a la intrusión de los cuerpos magmáticos; es decir, la disposición aproximada y teórica de la configuración interna de estos CRV, anteriormente vista en otros lugares de la provincia

con menor conteo de soluciones. La zona parece corresponder un sistema semi-extensivo (porque no se aprecia la contraparte de vergencia contraria) invertido por procesos de compresión, probablemente durante la etapa de sutura. Las intrusiones de menor tamaño corresponden con diabasas, y las de gran envergadura probablemente a cuarzo-monzonitas, siendo las primeras mucho más recientes que las segundas. La zona es limita al oriente por una intrusión del Complejo Supamo.

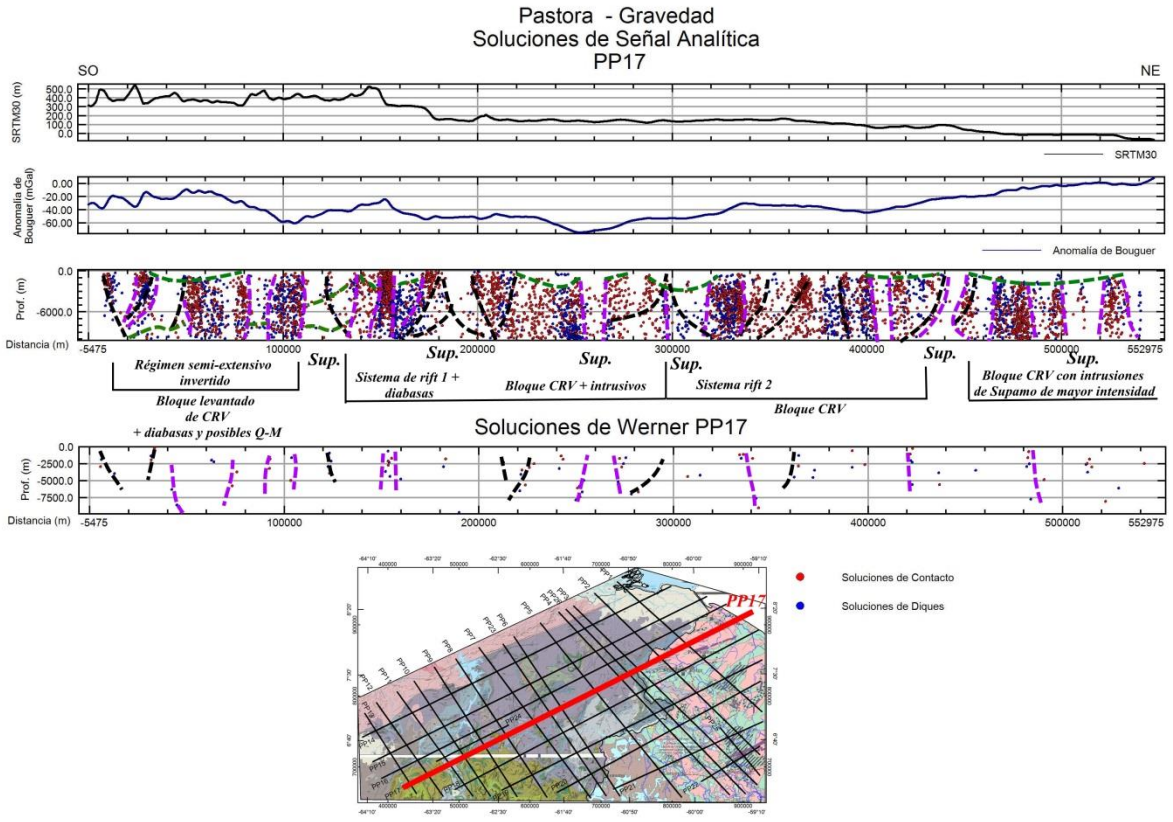


Figura 167. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP17, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

Intervalo de 130.000 m a 300.000 m: este intervalo comprende a su vez dos subsectores, representando el primero hasta los 230.000 m un sistema de rift invertido con intrusiones de numerosas soluciones, y cortado en su sección NE por una intrusión de Supamo, y el segundo un alto estructural (o al menos una mitad de él) de composición aparente de CRV, probablemente gabroide, cortado por una intrusión de Supamo. A partir de este intervalo se aprecia que el espesor de Supamo, en comparación con perfiles ubicados más al norte, es

menor y que el desplazamiento lateral de la intrusión fue muy importante para su inmensa cobertura. En la mayor parte del perfil su espesor no supera los 2 km, pero numerosos canales de ascenso son observados. Incluso por la disposición se interpreta que la intrusión presentaba algún tipo de limitación en el tope que lo obligó a distribuirse lateralmente (similar a un sill). Este movimiento obligó a la formación de ciertos sistemas de fallas inversas locales, ya que el magma cristalizaba en los bordes, y más material seguía ascendiendo en un ambiente tectónico donde la expansión ya había probablemente cesado.

Intervalo de 300.000 m a 430.000 m: este contiene otro sistema de rift local, separado del bloque anterior por un intrusivo de Supamo. La composición cortical debe ser mayoritariamente CRV, y se encuentra separado del siguiente bloque por una falla que parece ser normal invertida y que constituye un canal de ascenso importante de Supamo por su tamaño. En este bloque el espesor de Supamo es muy limitado, pero las zonas de alteración de contacto producto de su actividad magmática y de otros eventos termales presentan bastantes soluciones que disciernen del contexto. Es probable que los cambios sub-vertical más internos en el bloque correspondan a intrusiones de cuarzo-monzonita.

De 450.000 m en adelante: realmente esta zona a nivel cortical parece ser lo mismo que el intervalo anterior, la diferencia radica en las dimensiones que presentan los canales de ascenso de Supamo, siendo en este sector mucho más prominentes. Esto concuerda con la sugerencia de que la intrusión fue predominante en el norte, hacia el contacto con Imataca (o algún equivalente). Si se observa el mapa geológico de Guyana, se aprecia que hacia el norte la presencia de granitoides y migmatitas aumenta, y esta virtud parece conservarse en Surinam y Guayana Francesa.

El perfil PP24 (Figura 168) consiste en un perfil intermedio entre los perfiles PP16 y PP17 que ejemplifica de mejor manera la posible configuración que presenta el rift o los semi-rift separados por un cuerpo intrusivo de composición Supamo, siendo el sistema estructural que se observa en los perfiles mencionados hacia el SO. Las secciones más heterogéneas de los altos de CRV corresponden con zonas donde ascendieron intrusiones de cuarzo-monzonita. A su vez, posteriormente intruyeron diabasas que no son diferenciables en las soluciones.

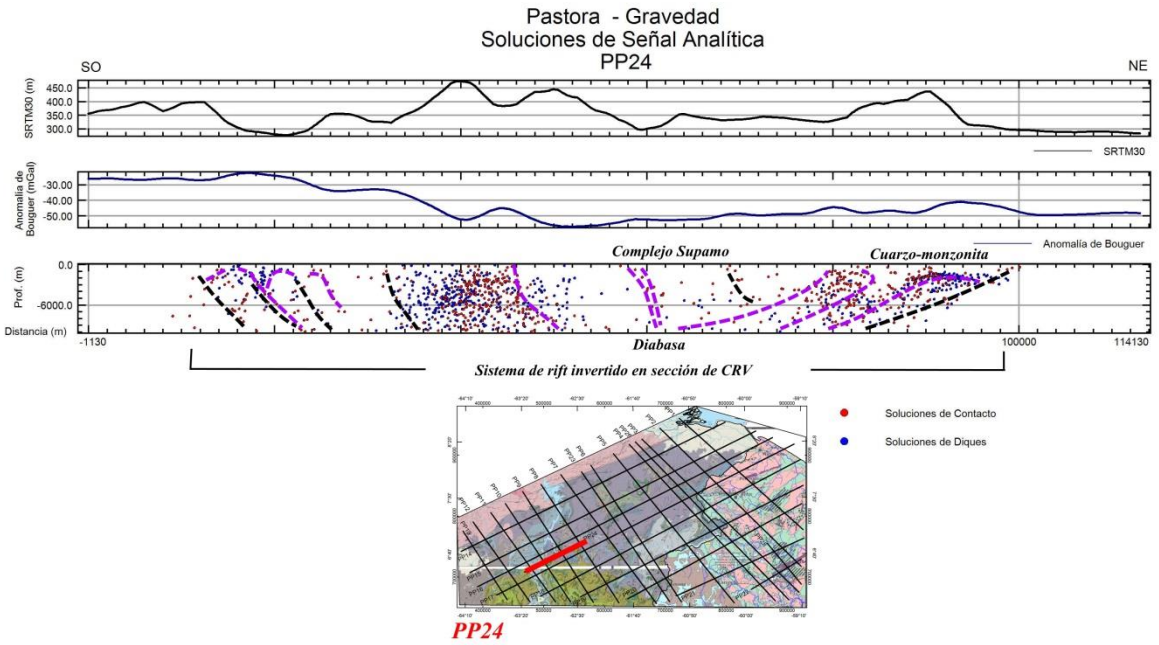


Figura 168. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP24, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

En la Figura 169, correspondiente al perfil PP18, la cantidad y características de las estructuras y bloques observados son similares al anterior. Las diferencias principales radican en la dimensión de los sistemas extensivos y la litología que cubre en algunos lugares a los CRV, las dimensiones y cantidad de los canales de ascenso de Supamo (que en este caso son escasos), el aumento de las intrusiones de cuarzo-monzonitas y de las zonas de alteración, y por último, pero no menos importante, la cercanía que presentan los bloques de CRV unos respecto a otros. En este perfil casi toda la columna cortical, con excepción de los primeros 2 o 3 km aproximadamente dependiendo del lugar, está conformada de rocas pertenecientes a CRV. Es por ello, probablemente, que las magnitudes de anomalías de Bouguer se mantienen estables en la mayor sección del perfil. Entre 0 m y 100.000 m el o los CRV se encuentran cubiertos por rocas de la provincia Roraima que alcanzan la profundidad de aproximadamente 1 km, entre 100.000 m y 150.000 m por rocas del Complejo Supamo que alcanzan profundidad de 2 km, entre 150000 m y 230.000 m rocas volcánicas silíceas, y posteriormente el mapa geológico de Guyana no describe la litología que aflora, solo menciona que pertenece a los CRV. Esta sección del perfil atraviesa algunos pequeños cuerpos de migmatitas.

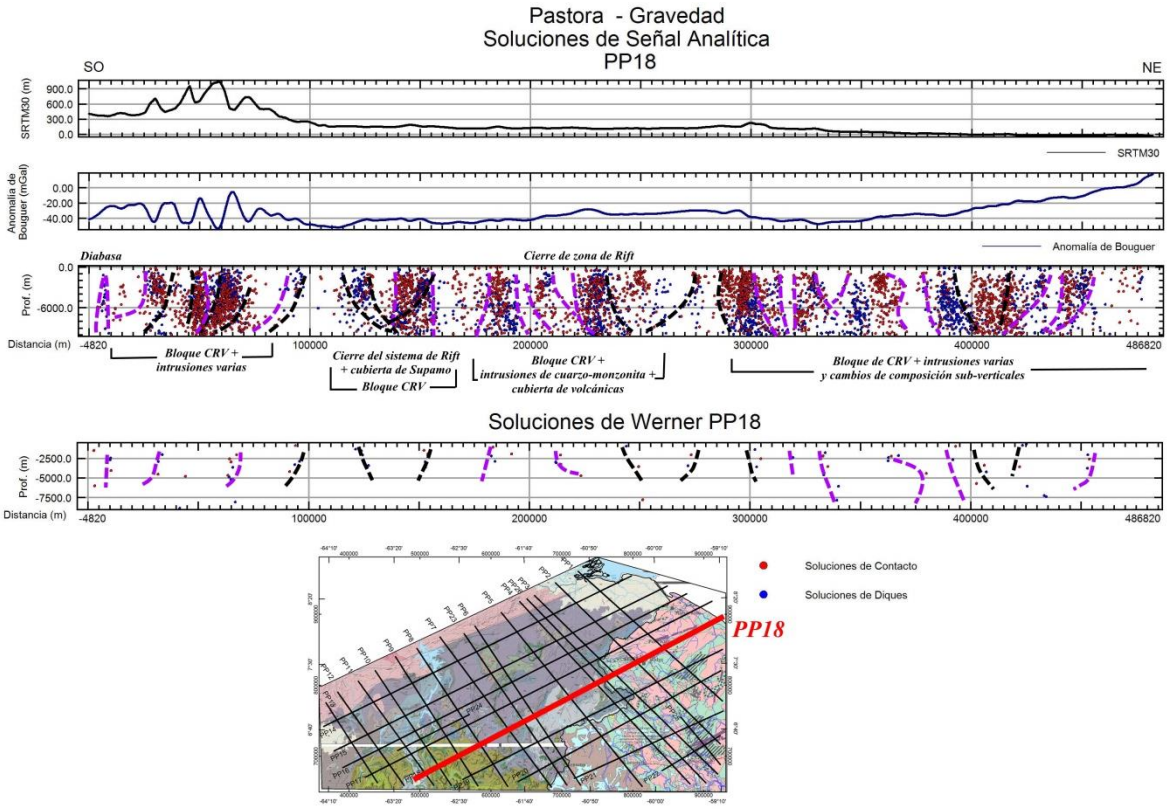


Figura 169. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP18, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

El perfil PP19 (Figura 170) continúa el conjunto de estructuras y disposiciones del perfil anterior, con la diferencia de que la composición cortical es, en mayoría, perteneciente a CRV. Las secciones de composición Supamo parecen estar ausentes y solo se presentan en las partes más superficiales de algunos sectores como una costra cortical. Las rocas volcánicas silíceas entre 150.000 m y 180.000 m aproximadamente presentan esta característica también. Solo hacia el final del perfil en el NE, se observa un contraste de composición sub-vertical asociado a Supamo.

La mayoría de las alteraciones observadas internas a los bloques de CRV son ocasionadas principalmente por intrusiones y diabasas. Las zonas de migmatización son abundantes y parecen estar asociadas a zonas donde las rocas metamórficas de los CRV fueron alteradas por el intrusivo de Supamo. Estas rocas representan extensiones considerables, y presentan disposiciones generales de corrimiento, probablemente en respuesta a esfuerzos compresivos de las últimas etapas de inversión.

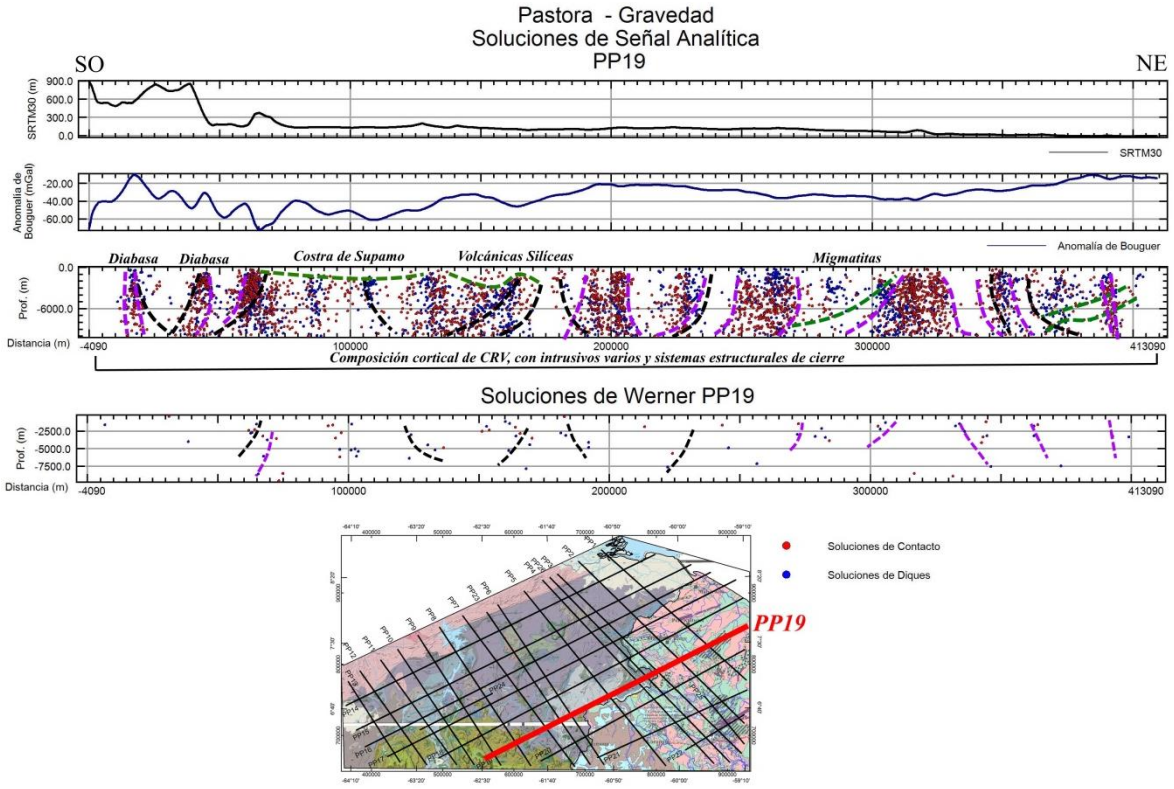


Figura 170. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP19, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

La curvatura y cierre del segundo sistema de rift se observa al SO de la Figura 171, perfil PP20. Este sector se encuentra fuertemente influenciado por intrusiones de diabasas, siendo el Complejo Supamo y las volcánicas silíceas la parte más superior de la corteza. La zona de mayor alteración metamórfica se encuentra alrededor de los 70.000 m del perfil, producto de dos factores: a) su cercanía a sistemas de intrusión, y por ende, a alteración termal; b) por formar parte o estar próxima a la zona de bisagra tectónica donde se dobla y a partir de la cual se quiebra la provincia de Pastora. Posterior a la zona de alteración, se observa una especie de estratificación, que forma parte del borde de un alto estructural de CRV, cubierto por rocas del Supergrupo Roraima y afectadas por intrusiones del Grupo Avanavero. Dentro de este bloque, entre 120.000 m y 170.000 m aproximadamente, se observan cambios de composición afectados por sistemas de fallas no dibujadas, ya que sus ubicaciones no son claras. La característica estructural de este sector en particular es que parecen fallas normales, similar a un margen pasivo.

Aproximadamente en 250.000 m del perfil fallas de rumbo colocan bloques de CRV desplazados. Solo (o al menos) dos (2) pequeños canales de ascenso de Complejo Supamo podrían ser diferenciados, en 150.0000 m y 230.000 m. El resto del perfil está compuesto de rocas de CRV, ya sean del mismo o no, sobrecorridas levemente e intrusionadas por las rocas ya mencionadas. El sistema estructural dominante en el perfil sería el extensivo invertido, probablemente la mitad de un antiguo margen pasivo hacia Guyana, ya que hacia el lado venezolano consiste en el cierre de los sistemas de rift. El margen pasivo posteriormente pudo ser sobrecorrido por los esfuerzos compresivos, que parecen ser de mayor intensidad hacia Venezuela. A partir de este perfil, al menos tres (3) bloques de CRV son diferenciables, podrían corresponder a un mismo CRV fracturado por tectónica ó 3 CRV diferentes.

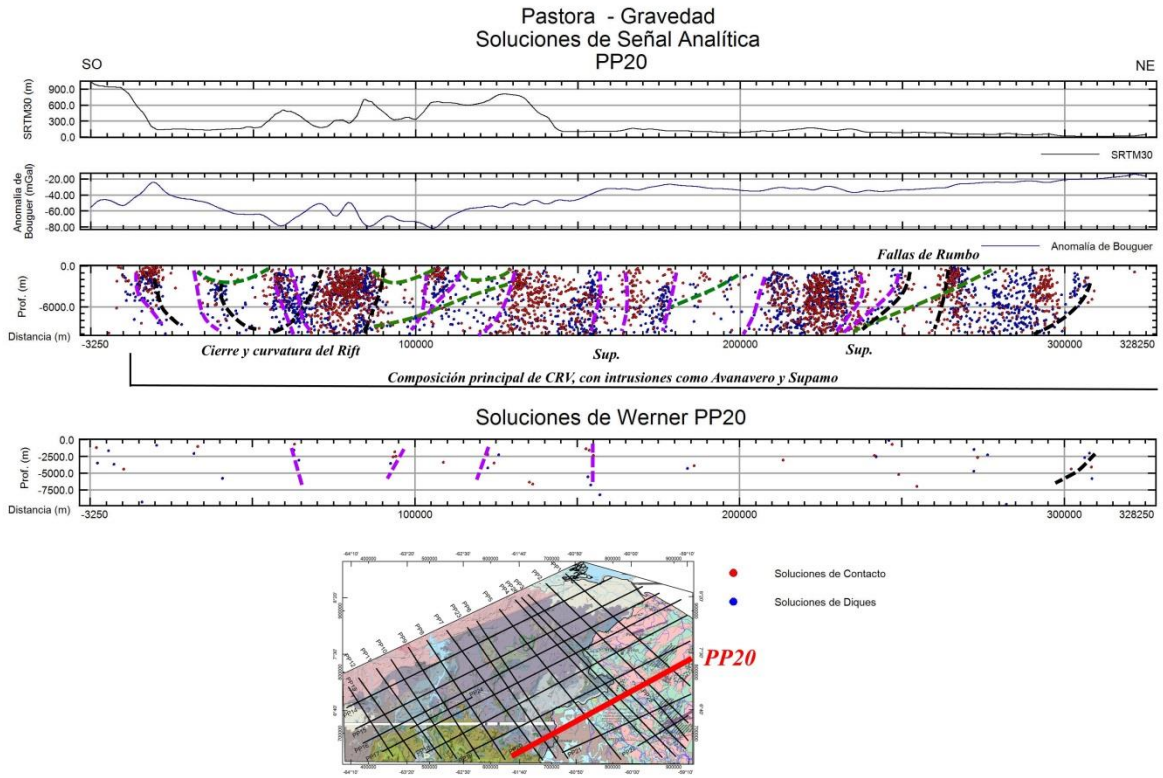


Figura 171. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en datos de gravedad PP20, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

En el PP21 (Figura 172) las estructuras y contrastes de composición disminuyen su inclinación un poco, mostrando de mejor manera la disposición real aproximada de las

estructuras. Esto ocurre debido al efecto visual generado al contrastar perfiles anteriores de gran extensión respecto a este de menor longitud: en los perfiles más extensos la escala horizontal es mayor, generando el contraste visual con los perfiles de menor longitud donde la escala horizontal es menor, siendo aproximadamente en ambos casos la misma escala vertical. Sin embargo, el margen SO sugiere ser compresivo a partir de la colisión del grupo continental Imataca-Pastora con la corteza preexistente a Cuchivero-Caicara hacia el oeste. Todo el sistema de colisión se encuentra cubierto parcial o totalmente por el Supergrupo Roraima. La totalidad del perfil se encuentra ubicado sobre territorio guyanés, y entre 0 m y 70.000 m de éste, numerosas intrusiones de Avanavero son apreciables cortando la columna cortical. Debido a la profundidad que alcanzan las soluciones, no se logra observar las posibles estructuras térmicas que permitieron estos intrusivos. No obstante, parece ser un fenómeno que afectó principalmente a las regiones aledañas a suturas sin distingo. En los 90.000 m del perfil se observa que el Complejo Supamo sufrió la etapa de deformación tectónica, localizando al evento tectónico temporalmente entre ambos eventos intrusivos (Avanavero y Supamo). A partir de los 100.000 m la configuración se comprime por el efecto bisagra de la provincia, y los cambios de composición ocurren en menor distancia. Es debido a ello que se observan alternancias sub-verticales entre bloques CRV, granitoides, Avanavero y diques, junto a sistemas estructurales confundidos en las soluciones de los cambios de composición.

Aun cuando el capítulo no corresponde con Roraima, es de acotar que se observan interfases sub-horizontales que cubren la sección SO, sugiriendo que la misma podría engrosar hacia el suroeste de la provincia. El peso de los grupos superiores que conforman Roraima genera zonas de relativa depresión, alterada posteriormente por el rebote causado por la erosión. La interfase más somera se ubica en promedio a 1,5-2 km de profundidad, que podría ser la base de Roraima. La siguiente se muestra parcialmente (ya que es cortada por intrusivos) desde 2 km a 5 km en su parte más profunda. Quizás esta última corresponde con alguna variación de la parte superior del CRV más cercano a superficie o de la zona.

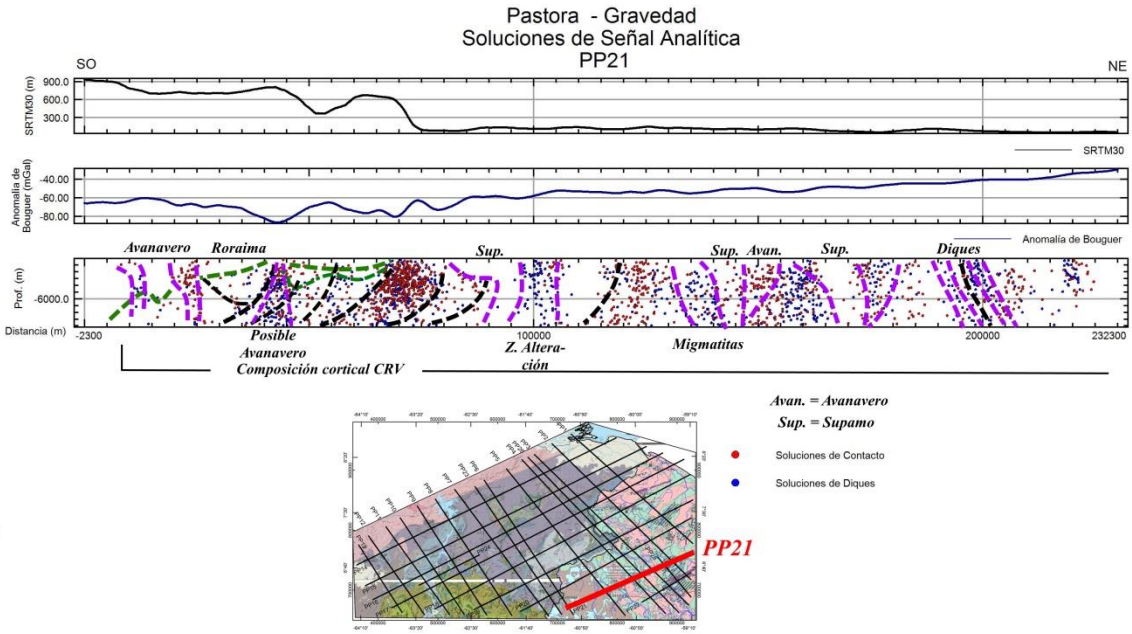


Figura 172. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP21, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

El perfil PP22 (Figura 173) se encuentra ubicado en territorio guyanés hacia el sureste del polígono en estudio para la provincia de Pastora. El mismo, por su dimensión reducida, permite observar ciertas características internas a los CRV, al menos al CRV o sección del mismo que se encuentra en esta zona. Las interfases inclinadas marcadas en color verde se observan, descontinuadas por uno o más cuerpos intrusivos (mapeados como diques) con amplia zona de alteración en la roca caja, que en este caso son pertenecientes a los CRV. La sección se encuentra en un contexto general de inversión, observado por la posible falla de retro-corrimiento que levanta un pequeño bloque de CRV. Hacia el SO, se podría interpretar un intrusivo de Supamo inferior a una amplia zona de migmatización. Hacia el NE, la falla de mayor envergadura coloca en corrimiento a un bloque de CRV sobre una zona de alteración producto de intrusivos granitoides. Si se aprecia la curva de anomalía de Bouguer, todo el bloque levantado de CRV se encuentra en un alto relativo de gravedad semi-regional, rodeado de bajos de gravedad asociados a intrusiones de granitoides. El bajo de gravedad que se encuentra inmerso en la envolvente del CRV corresponde con alteración termal producto del ascenso de diques, que al parecer mejoraron la competencia de la roca, ya que la topografía muestra un cúmulo de 80 m justo sobre el lugar.

Las zonas de migmatización parecen corresponder con zonas donde Supamo no podía continuar ascendiendo, y la alteración en la roca caja (CRV) fue mayor. La erosión posteriormente permite observar diferentes niveles de ascenso del Complejo Supamo, quizás, donde las migmatitas aparecen. Ya que los CRV son heterogéneos, al no encontrar fracturas para el magma ascender en ciertos lugares, la alteración se propagó lateralmente.

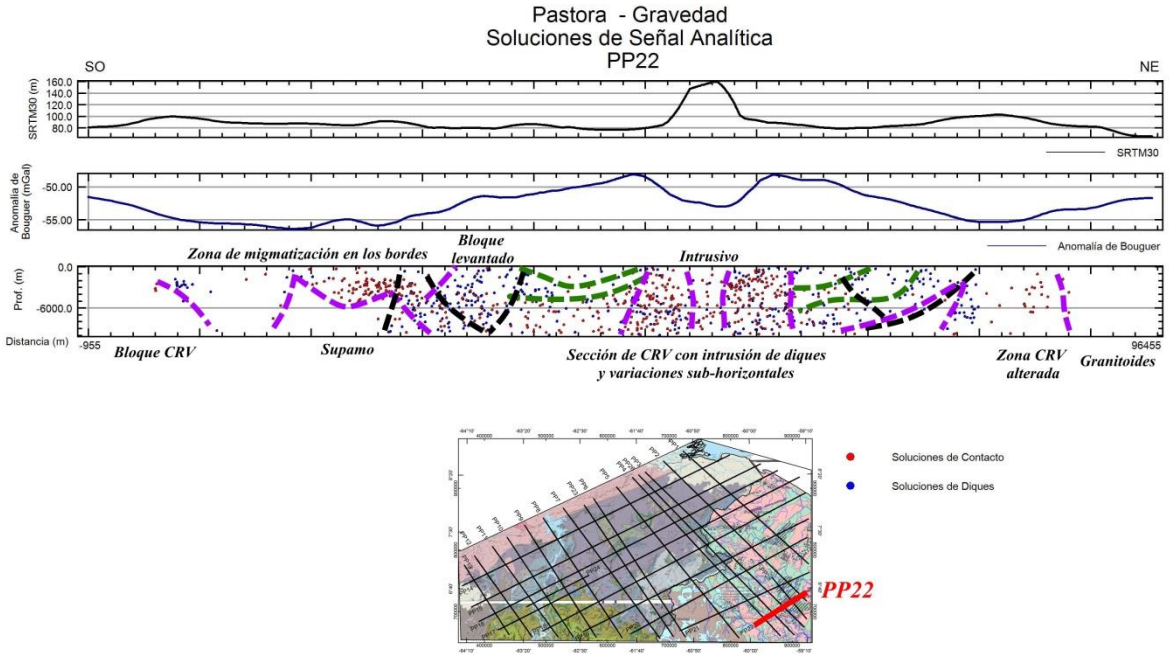


Figura 173. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP22, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

La estructura interna que revelan los CRV en el siguiente perfil (PP25, Figura 174) es importante para comprender la disposición de los mismos y su interacción. Se tiene que acotar que la disposición que presentan acá los corrimientos es en vista pseudo-paralela a las estructuras de rift, por lo tanto, estas estructuras podrían coincidir con los eventos tectónicos iniciales normales invertidos. La disposición consiste en una serie de altos y bajos de "basamento", donde las zonas con baja cantidad de soluciones corresponden con estos altos (algunos corridos) y los depósitos de CRV en el flanco NO del alto de basamento sobre-corriendo, con gran cantidad de soluciones, que inicialmente pudieron estar inmersos en sistema de fallas normales. En este caso, hacia el SE, el contacto entre el/los CRV y los granitoides es de fallamiento inverso. Anteriormente quizás el contacto no

presentaba tectonismo actuante, pero durante el período de inversión del mar de Pastora, estas intrusiones pudieron facilitar zonas de debilidad para la fractura. Cambios de composición internos a los CRV son observados entre 20.000 m y 40.000 m del perfil, representando la sección de composición más heterogénea y de rocas con probablemente menor competencia. Entre 60.000 m y 80.000 m la variación quizás no obedece a competencia, sino a alteración termal, al estar la zona muy cerca de intrusiones graníticas.

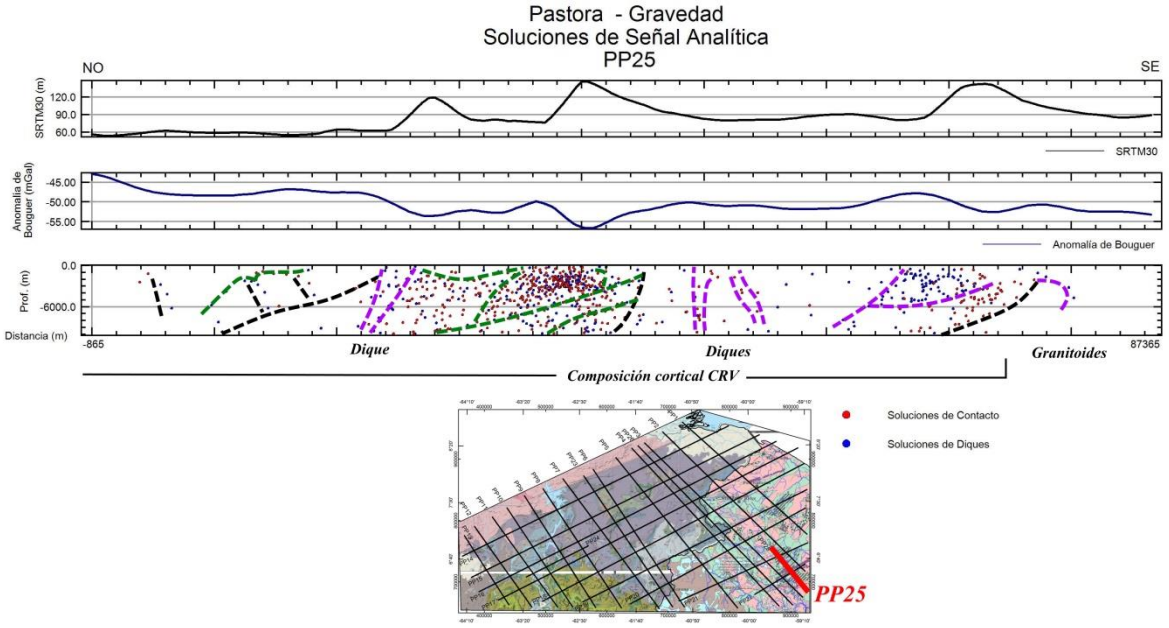


Figura 174. Soluciones de señal analítica en datos de gravedad PP25, Pastora. Líneas de guiones negros: sistemas estructurales, líneas de guiones morados: cambios de composición, líneas de guiones verdes: interfases de composición.

SOLUCIONES DE PERFIL - PROVINCIA CUCHIVERO

Un total de 30 perfiles fueron calculados a partir de la técnica de señal analítica y deconvolución de Werner para la provincia de Cuchivero, cuya ubicación de cada uno de ellos se observa en la Figura 175.

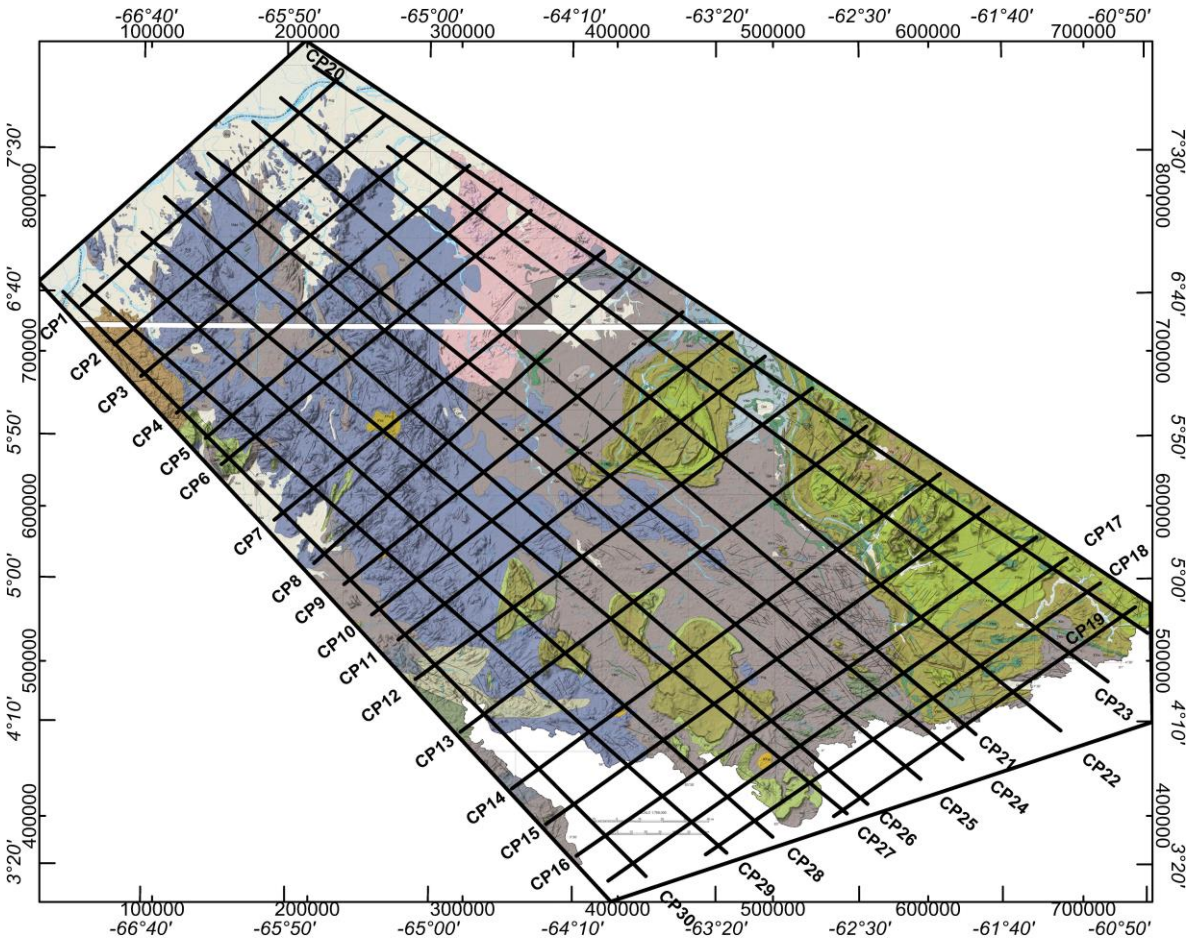


Figura 175. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la provincia de Cuchivero, sobre el mapa geológico de Hackley *et al.* (2005).

La Figura 176 corresponde a las soluciones resultantes de la señal analítica y la deconvolución de Werner en el CP1 (Cuchivero Perfil 1). Los niveles de profundidad que muestran ambas técnicas son diferentes, por ende, los resultados de Werner definen algunas características en los primeros 4 km de profundidad que la señal analítica no resolvió, principalmente los cambios semi-horizontales entre 50.000 m y 100.000 m del perfil, y entre 2 km y 4 km en profundidad, que podría atribuirse a contactos entre litologías de afinidad volcánica y de afinidad intrusiva.

A lo largo de todo el perfil, la litología predominante es el Granito de Cuchivero. Hacia el SO, el contraste provocado por el cambio de composición entre Cuchivero y el granito de Parguaza sugiere ser de contacto. La zona continúa hacia el NE con diferentes sistemas estructurales con buzamiento aparente sur. A su vez, dos zonas con numerosas soluciones

aparecen entre 75.000 m y 150.000 m del perfil. Las mismas corresponden con localidades donde existe abundancia de rocas volcánicas de Caicara. Esta litología además se encuentra bajo la influencia de los sistemas estructurales presentes que moldan el sistema de relieves que atraviesa a la provincia en dirección casi N-S. El hecho de que estas estructuras sean observadas casi sobre el río Orinoco sugeriría que las provincias se extienden más al norte de este río.

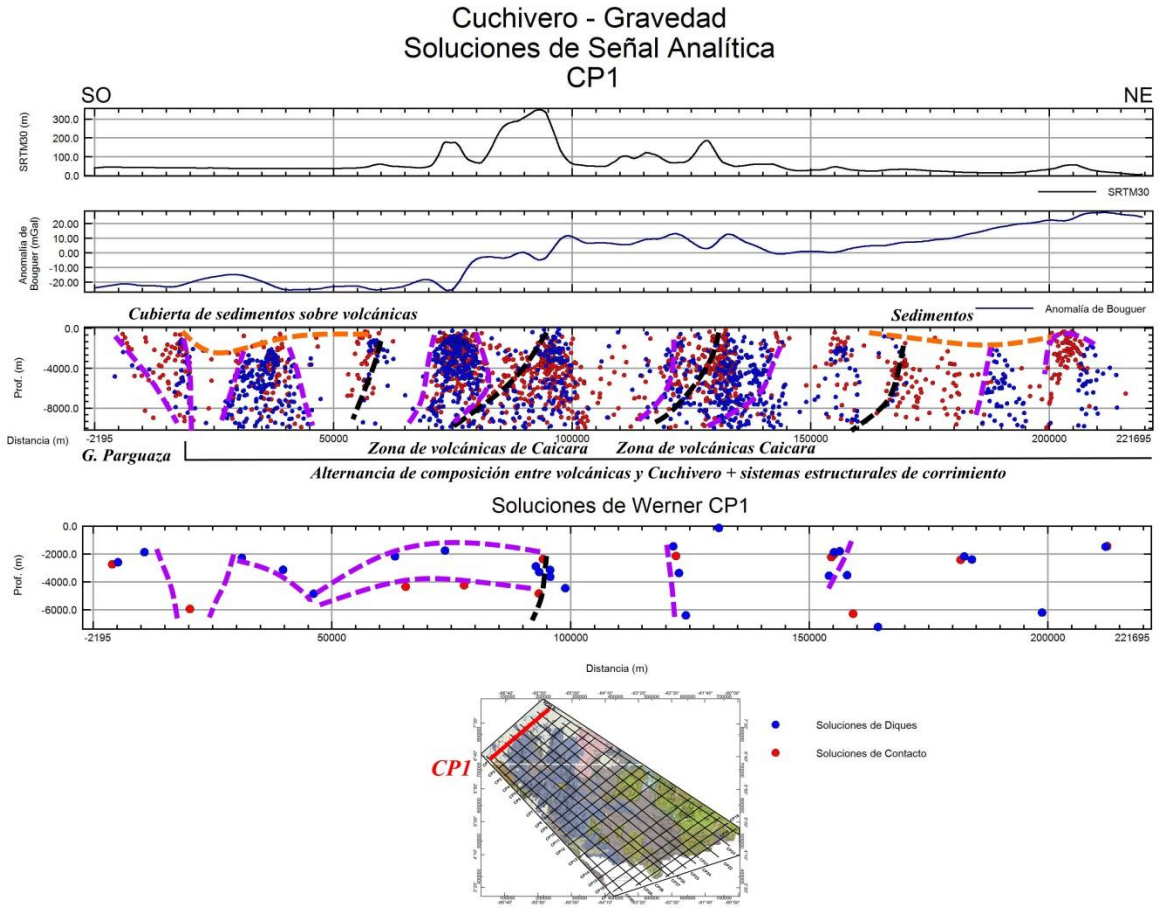


Figura 176. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP1 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

Como el perfil se encuentra en el límite norte de la provincia, estos sistemas estructurales no pertenecen al sistema de subducción primaria, sino que podrían corresponder con un sistema de colisión producto de la rotación del Escudo, que genera el quiebre del patrón estructural cercano a los 6º de latitud.

El siguiente perfil (Figura 177) está compuesto en su mayoría por rocas afines a la asociación Cuchivero. Hacia el SO se encuentra el contacto entre esta asociación y Parguaza. El resto del perfil es un conjunto de alteraciones internas producto de las diferenciaciones magmáticas y de la alteración por contacto.

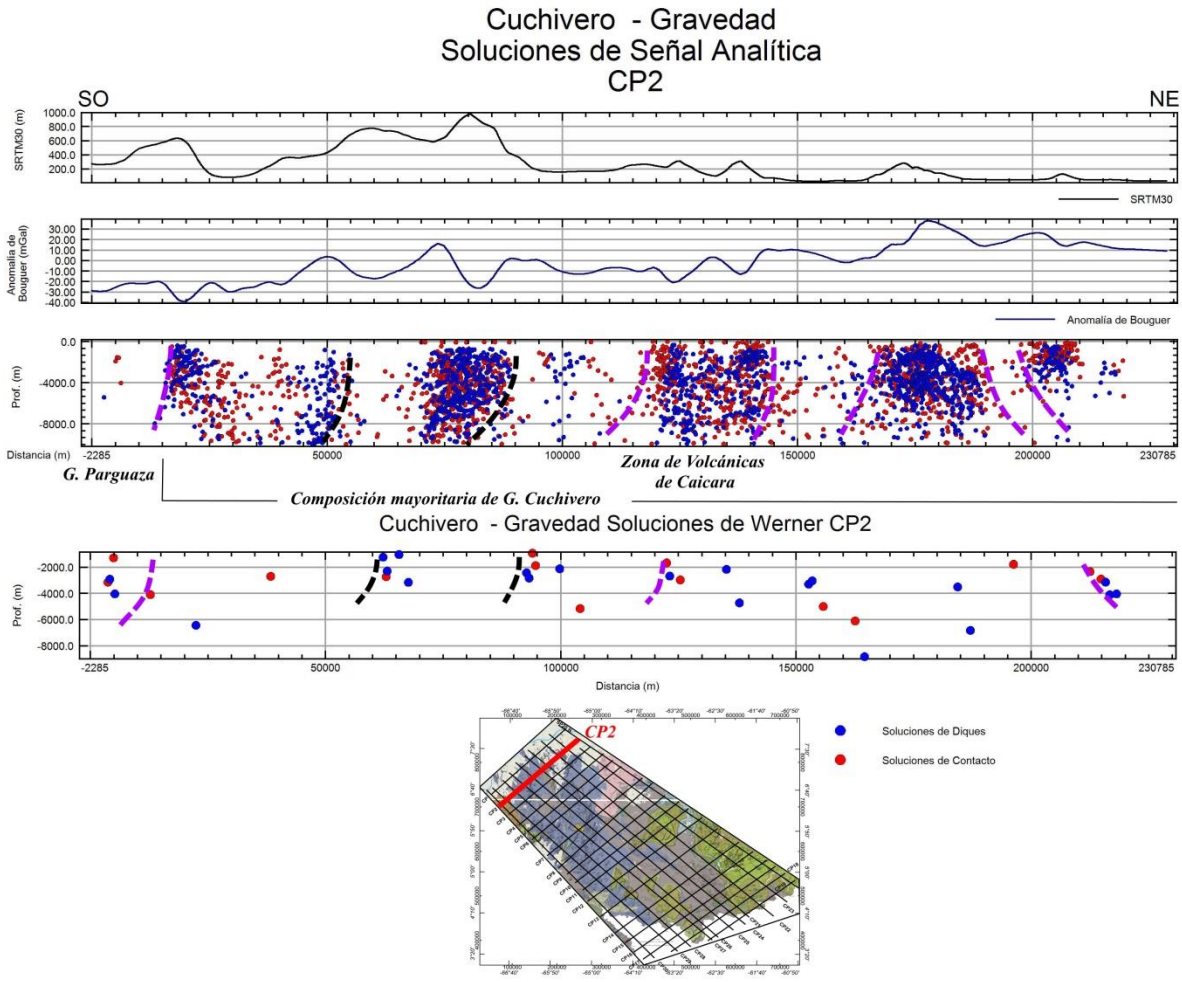


Figura 177. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP2 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición.

El mayor bloque de rocas volcánicas se observa entre 125.000 m y 140.000 m aproximadamente del perfil. La mayoría de los sectores donde aparecen cúmulos de soluciones corresponden con alteraciones metamórficas producto del tectonismo, ya que las mismas se asocian a sectores donde hay sistemas de falla. Estos sistemas a su vez son los

mecanismos bajo los cuales se han movilizado los bloques para permitir el levantamiento que recorre a la provincia.

La Figura 178 correspondiente al CP3 presenta un bloque de rocas volcánicas de Caicara de mayor envergadura que los anteriores. A su vez, estas rocas se encuentran dispuestas sobre lo que sugiere ser una composición cortical similar o igual a la asociación Cuchivero. Los sistemas estructurales mantienen las orientaciones y características observadas anteriormente.

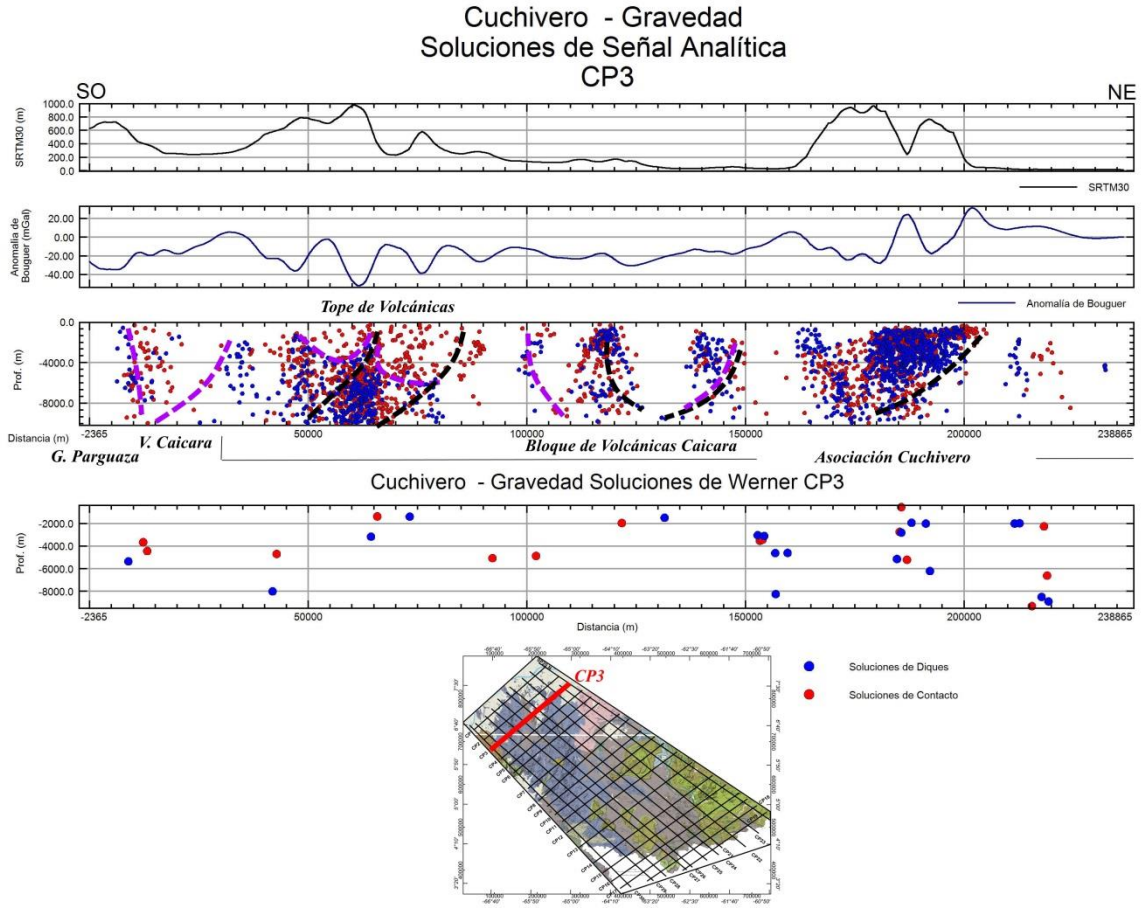


Figura 178. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP3 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición.

El contraste con los granitos de Parguaza continúa siendo de contacto. Al comparar las estructuras en el subsuelo y el relieve presente, se observa que las estructuras de corrimiento marcan sistemas de relieve. El bloque correspondiente a Caicara difiere en

anomalías y relieve al contexto siendo más homogéneo, lo que sugeriría que esta sección no presenta el adelgazamiento cortical que generó su ascenso magmático. Probablemente el sector corresponda con las localidades marginales del sistema, donde las rocas volcánicas alcanzaron por dispersión superficial.

El CP4 (Figura 179) representa numerosas características importantes que sugieren la configuración interna principal de la provincia en su sección norte, o al menos al norte del cambio del patrón estructural. Hacia el SO el contraste con Parguaza se observa de igual manera que en los perfiles anteriores. A partir de este contacto, aproximadamente a los 0 m del perfil, la composición mayoritaria cortical es de granitos de Cuchivero. Entre 50.000 m y 100.000 m se observa lo que podría ser uno de los canales de ascenso de las rocas volcánicas que lograron alcanzar superficie primero, dentro de un sistema estructural de adelgazamiento donde las rocas de Caicara ocupan la mayor parte de lo aflorante en superficie. Entre 100.000 m y 150.000 m el tectonismo modificó parcialmente las características de las rocas, permitiendo el levantamiento de sistemas de relieve junto a zonas de corrimiento, todo dentro de un gran bloque intrusivo que posiblemente concuerde con Cuchivero. No obstante, por presentar un patrón de soluciones que sugieren otra composición diferente al contexto, es probable que este sector en su núcleo sean rocas de antigua corteza a la cual Cuchivero posteriormente intrusionó. Es decir, al menos dos pedazos de corteza intermedia llevada a niveles superiores por corrimiento. Su composición no es posible saberla, sin embargo, por las características que presentan estos bloques, son muy similares a los patrones de soluciones que presentaban los CRV en perfiles anteriores.

Aproximadamente a los 180.000 m del perfil aparece un conjunto de soluciones agrupadas en sentido vertical, que también es observado en las soluciones de Werner, que podría corresponder a un pequeño canal de ascenso que no alcanzo a romper hasta superficie. Más hacia el NE, debido a las dimensiones del perfil es difícil establecer la disposición del contacto entre Cuchivero e Imataca. Sin embargo, el mismo parece ser de ambas componentes, tanto de corrimiento como de contacto, donde Imataca (al menos en este sector) se encuentra infrayacente a Cuchivero. Todas las interpretaciones hechas son soportadas por las soluciones de Werner resultantes.

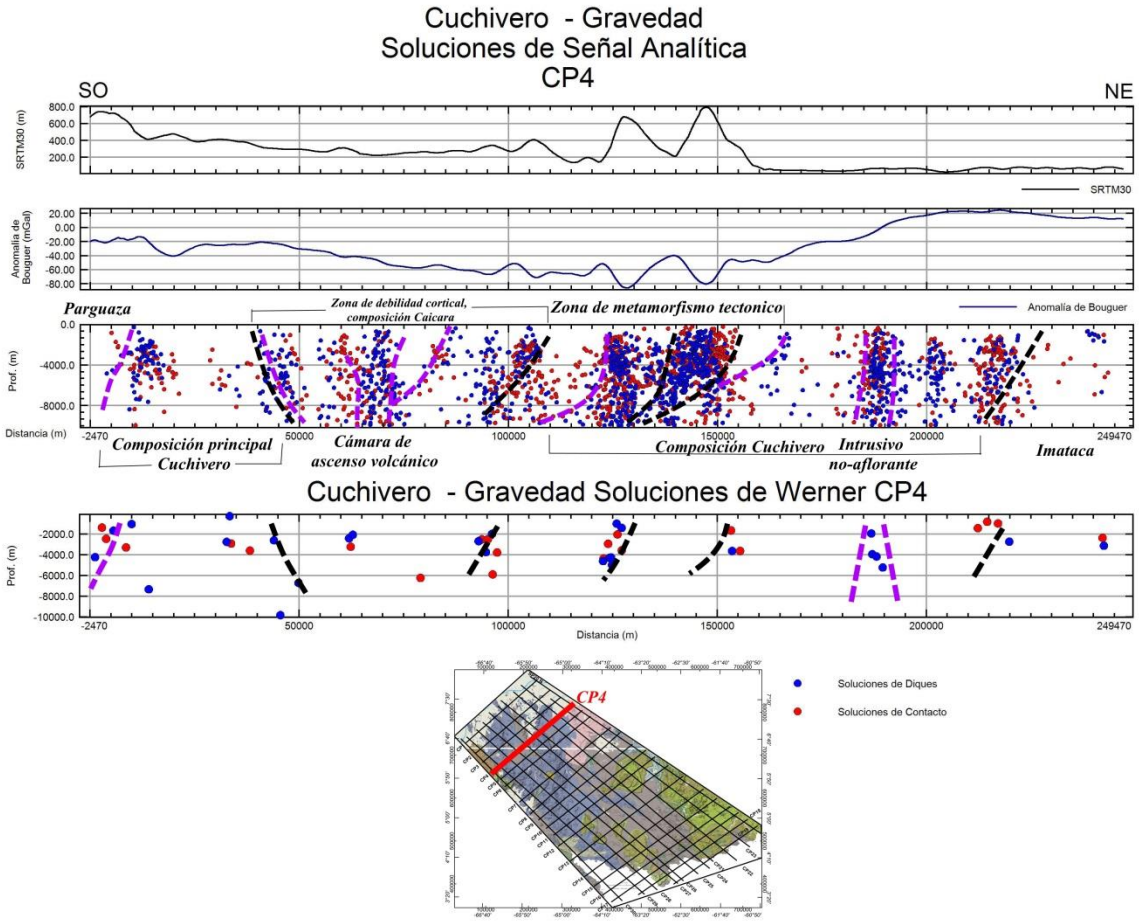


Figura 179. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP4 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición.

El perfil CP5 (Figura 180) inicia en el SO con el contraste Cuchivero-Parguaza en el subsuelo cubierto por una delgada capa aflorante del Supergrupo Roraima. Inmediatamente hacia el este, un complejo sistema estructural cambia la orientación de las estructuras generando un conjunto de soluciones que pueden obedecer a alteración de los granitos por tectonismo. Entre 60.000 m y 80.000 m continua la zona de alteración del canal de ascenso magmático observada en el perfil anterior, esta vez solo mostrando los contrastes que se generan por la alteración de la roca caja. Es probable que este canal de ascenso haya tenido las dimensiones que solo corresponden al perfil anterior, no propagándose hacia el sur. La mayoría de las rocas que afloran de Caicara hacia el noroeste de la provincia podrían ser producto de este canal.

Entre 100.000 m y 160.000 m la zona se caracteriza por continuar con el patrón de bloques sobre-corridos, posiblemente compuesto de CRV con granitos de Cuchivero hacia el tope. En 175.000 m aproximadamente se presenta la continuación del intrusivo que no afloraba en el perfil anterior. Este canal de ascenso si presenta propagación, y por los afloramientos cercanos se infiere que pertenece a las volcánicas de Caicara. La zona de contraste entre Imataca y Cuchivero a esta latitud sugiere ser de corrimiento leve. Un intrusivo se observa hacia la sección de Imataca (al igual que en los perfiles de soluciones interpretados en el capítulo de Imataca) de composición silícea (AXgr), según geología. Debido a su ubicación en el borde NE del perfil no se puede sugerir su sistema estructural, pero el mismo debe estar representado en alguno de los perfiles de Imataca.

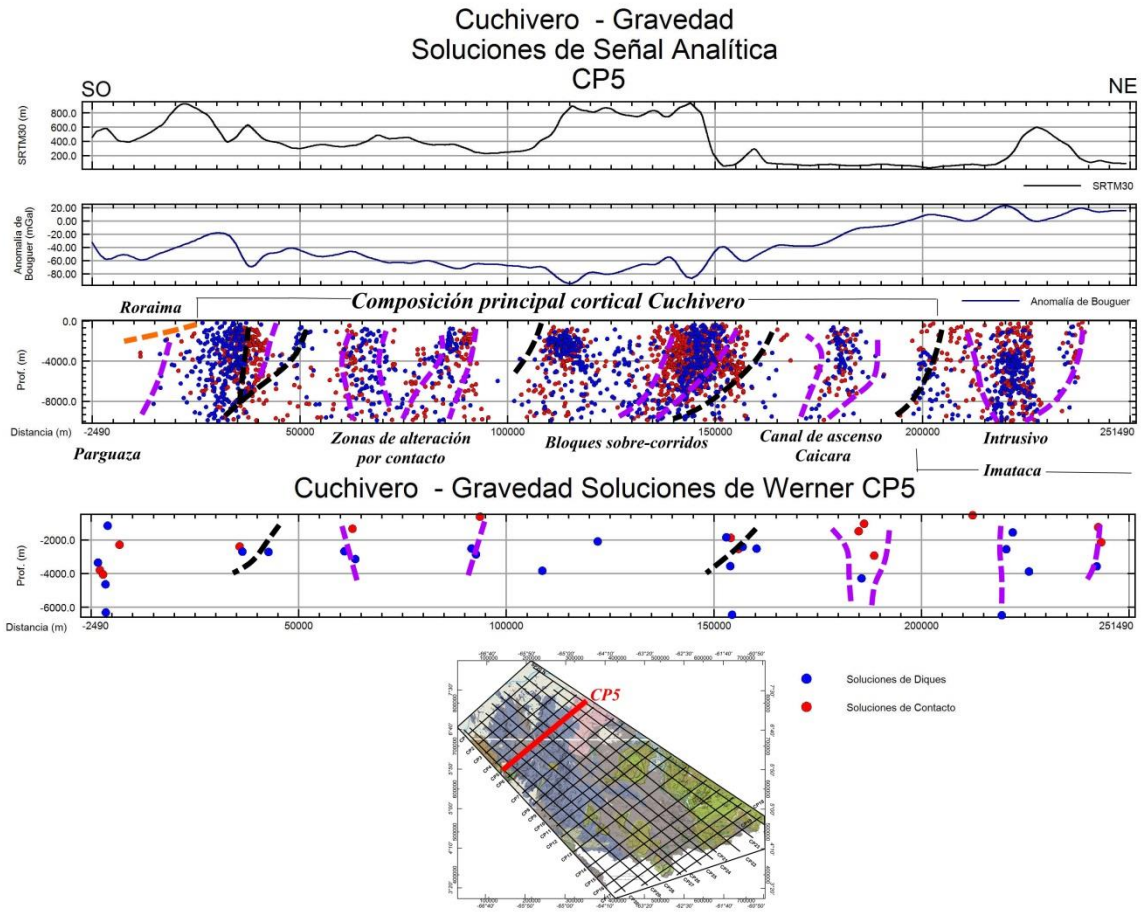


Figura 180. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP5 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición.

En el siguiente perfil CP6 (Figura 181), varios de los cuerpos intrusivos y de las zonas de alteración se pierden, lo que sugiere que los mismos no presentan gran extensión hacia el sur. La mayoría de la composición cortical parece ser afín a Cuchivero. No obstante, hacia el SO un nuevo canal de ascenso magmático se observa responsable de la presencia de volcánicas de Caicara por debajo de Roraima.

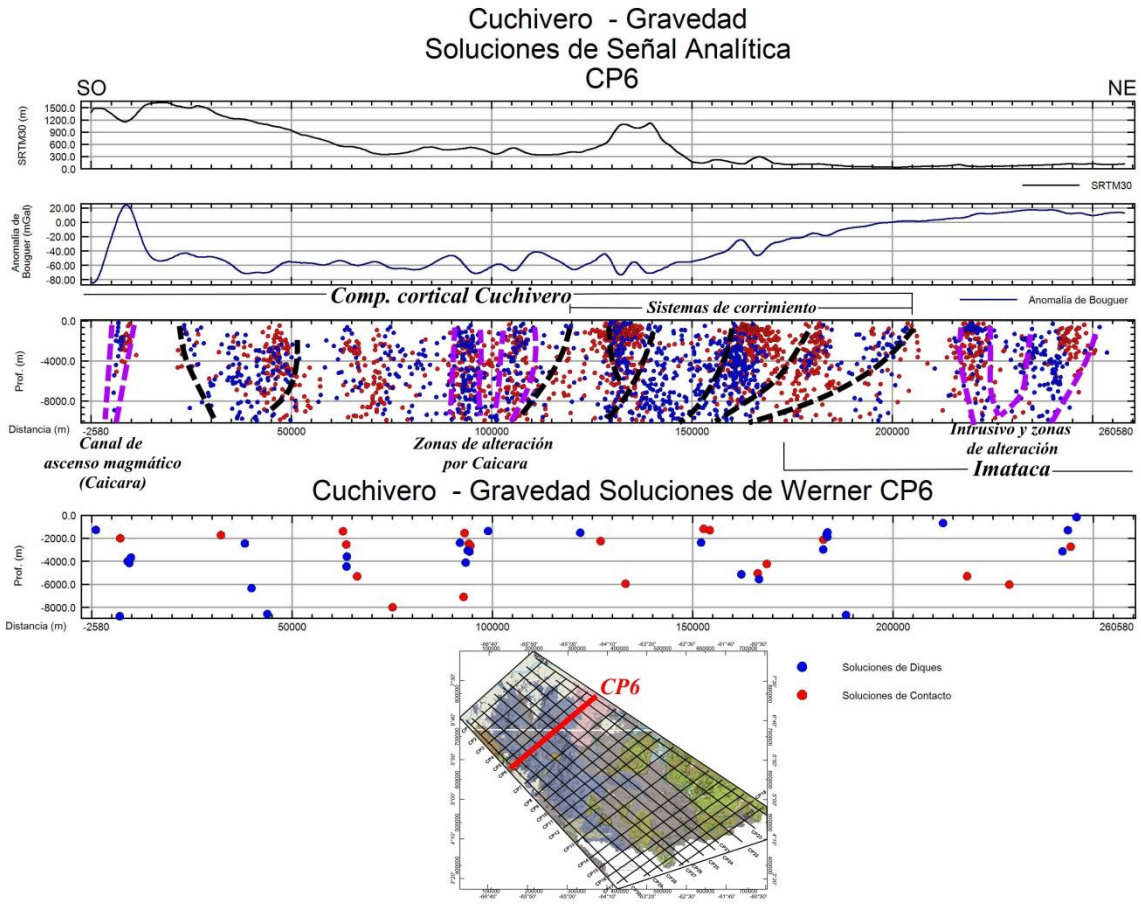


Figura 181. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP6 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición.

La zona de alteración interna a Cuchivero en 100.000 m del perfil corresponde a la continuidad disminuida del sistema principal de ascenso de Caicara en la sección norte de la provincia. A partir de esta ubicación relativa, el sistema estructural dominante es de corrimientos al igual que en los CP previos, y donde el contacto hacia Imataca se hace más horizontal ubicado en los 200.000 m del perfil. El cuerpo intrusivo observado en Imataca

correspondiente a rocas silícicas presenta continuidad, pero esta vez mostrando solo influencia por alteración, sobre todo en los niveles más superficiales.

El perfil CP7 (Figura 182) está básicamente dividido en dos provincias: Imataca y Cuchivero. Desde el SO hasta aproximadamente 100.000 m del perfil la corteza está compuesta por rocas afines a la provincia de Cuchivero, y a partir de esta ubicación, un complejo sistema estructural cambia este dominio hacia la provincia de Imataca. En la sección de Cuchivero el sistema estructural es evidentemente compresivo, con fallas de retro-corrimiento hacia el SO; algunas alteraciones de composición son apreciadas probablemente producto de cristalización tardía.

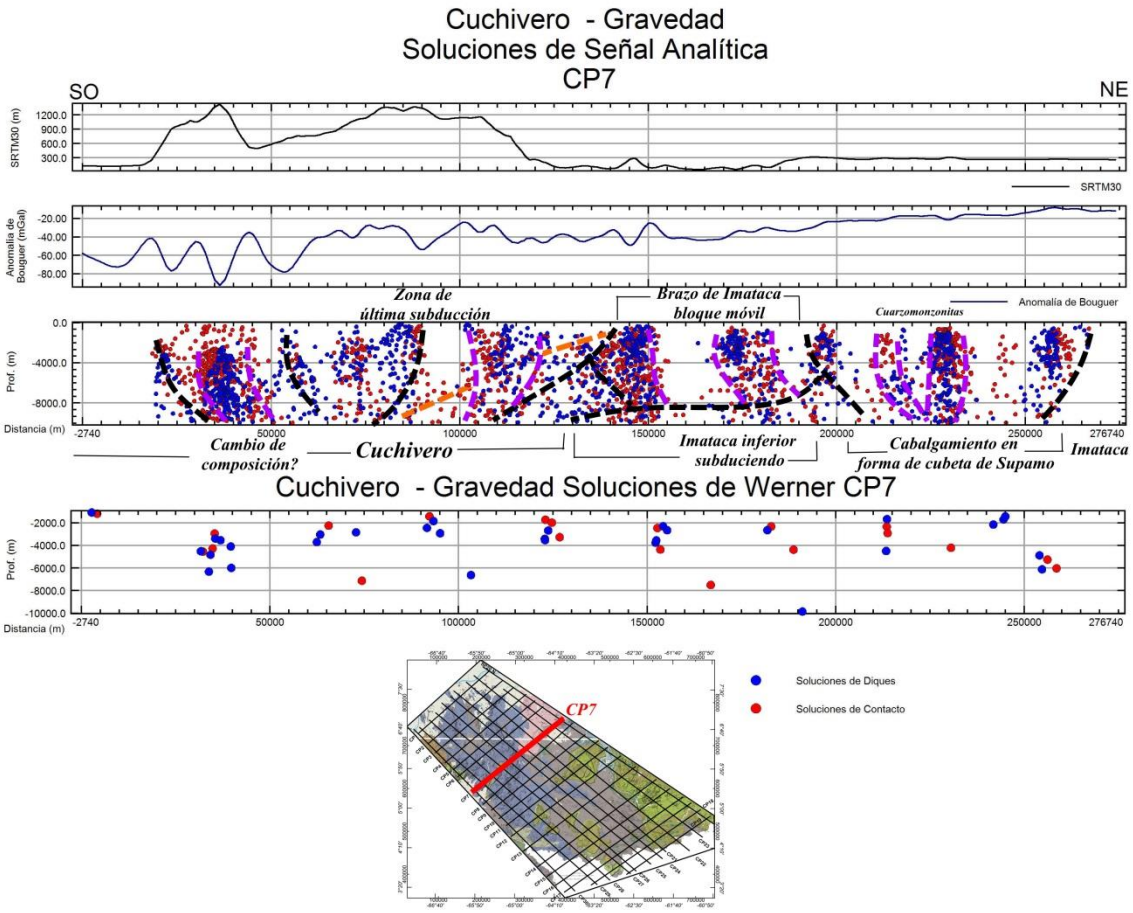


Figura 182. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP7 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición.

Cuando la provincia se acerca a los 75.000 m se observa un corrimiento principal que coincide con la ubicación de subducción inferida a partir de los mapas de gravedad. Posterior a ello, en los 100.000 m mencionados, se observa el levantamiento de lo que podría ser bloques de CRV cubiertos por rocas graníticas de Cuchivero. En esta ubicación, además, concurre la sutura de esta provincia con Imataca, marcando un antiguo margen de subducción donde un bloque de composición afín a Imataca quedó remanente en el tope de la corteza, llamado en el perfil "Brazo de Imataca". Quizás intrusivos recientes durante la etapa de subducción redujeron la densidad de esta sección e impidieron que este bloque subductara.

A partir de los 200.000 m del perfil, un bloque de composición principal Supamo se encuentra encerrado en un límite cóncavo por la provincia de Imataca, permitiendo una estructura con forma de cubeta que se encuentra ligeramente por encima de Imataca, diferente a la tendencia general de la falla de Guri que coloca a Imataca sobre Supamo hacia el NE del Escudo.

Las soluciones de Werner son concordantes con lo interpretado con señal analítica, principalmente en lo referente a los sistemas estructurales, donde la mayoría de las fallas se encuentran en cúmulos de soluciones tanto de diques como de contacto.

La Figura 183 correspondiente al CP8 es uno de los perfiles más complejos que representa la configuración principal de la provincia Cuchivero. El perfil podría ser divido en dos secciones principales separadas por un sistema de corrimiento: a) desde el SO hasta 140.000 m del perfil la corteza se encuentra principalmente compuesta por rocas afines a Cuchivero, con una marcada zona de alteración por magmatismo entre 50.000 m y 100.000 m del perfil, junto a un bloque exhumado de probablemente corteza intermedia, b) desde 140.000 m del perfil hasta el NE compuesta principalmente por rocas pertenecientes a CRV con una intrusión de Cuchivero de gran envergadura y un cobertura de entre 1 km y 3.5 km de rocas volcánicas de Caicara. La frontera entre ambas secciones se caracteriza por el cabalgamiento de un bloque de CRV sobre otro de similar naturaleza. Además, existen diferenciaciones magmáticas sub-horizontales que sugieren la naturaleza de cristalización de Caicara. Esto apoya la tesis de que Caicara cristalizó como la parte superficial de la

asociación Cuchivero en zonas donde probablemente existían depresiones estructurales con sistemas de fallas que facilitaban el magmatismo a diferentes tasas de ascenso.

El bloque de Supamo ubicado hacia el NE presenta similares condiciones estructurales que las analizadas en el perfil anterior. Los contrastes más importantes de composición interpretados son soportados por las soluciones de Werner, con pequeñas diferencias respecto a las dimensiones de los bloques.

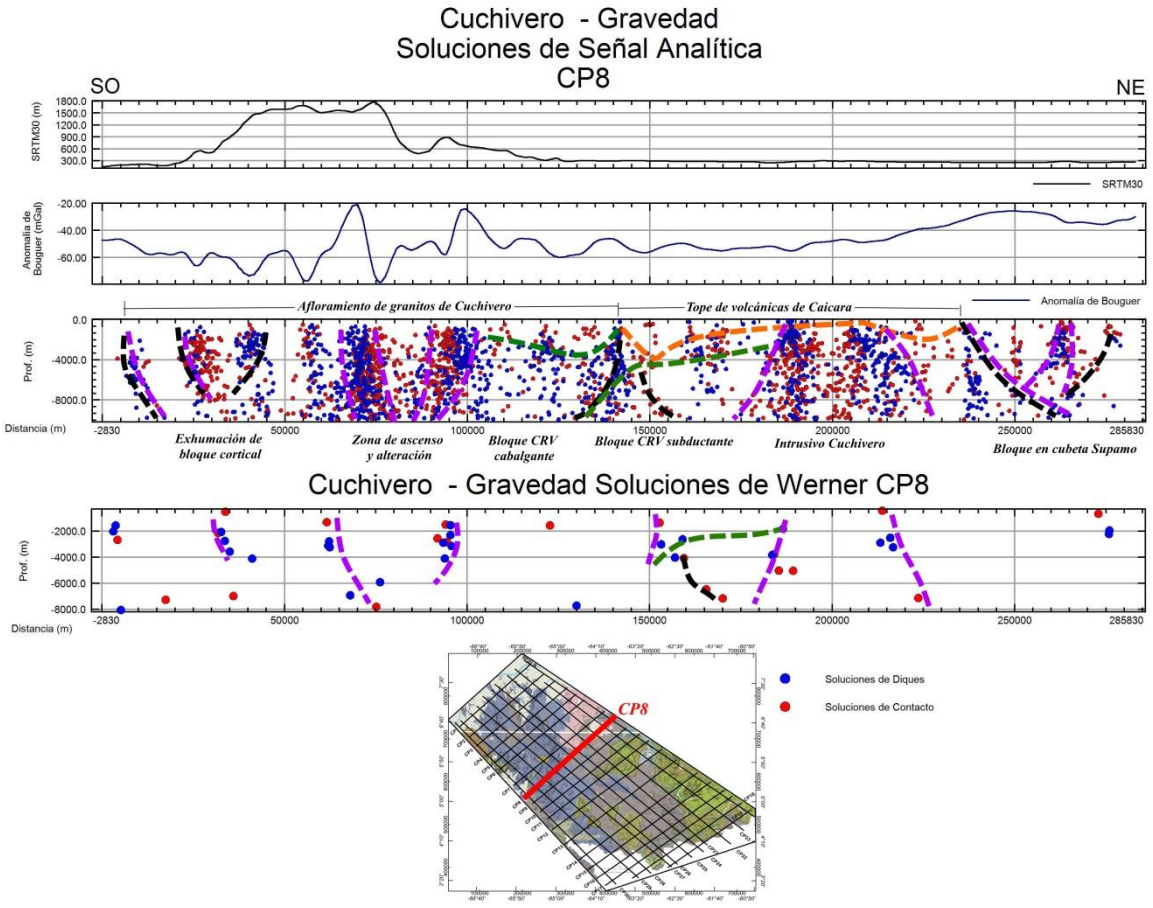


Figura 183. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP8 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV; guiones naranja = base de volcánicas.

No obstante, no se descarta que, en la sección "a" del perfil, las rocas que se encuentran por debajo de las correspondientes a Cuchivero sean a su vez afines a CRV. A pesar de que la subducción más reciente de esta provincia se encuentra ubicada colindante con su frontera occidental, se ha observado que fue una subducción migrante de Este a Oeste, y que la

ruptura pudo ocurrir interna a sistemas de CRV. De igual manera, los canales de ascenso magmático no son restringidos al arco de isla, los mismos se encuentran presentes en toda la provincia, unos de menor o mayor envergadura, pero probablemente siendo los más activos y rápidos aquellos ubicados cerca del arco, y es por ello que el mayor afloramiento de rocas volcánicas ocurre hacia el oriente de la provincia, cercanos al arco y detrás del arco.

La corteza subductante permitió canales de ascenso magmático hacia ambas placas o bloques, lo interesante consiste en las características de espesor cortical que presentaba la corteza hacia el oeste respecto a la del este. Evidentemente la ubicada al oeste debió ser más densa y espesa (relativo a los espesores corticales de esos tiempos) que la del este, en caso contrario la vergencia estructural fuese contraria, los relieves topográficos estuviesen dispuestos más al este y Caicara afloraría mayoritariamente hacia el occidente. La realidad geológica indica hoy día que fue lo contrario. Además, la familiaridad que existe entre Supamo y Cuchivero sugiere que la corteza subductante ya tenía a estos intrusivos parcialmente dentro de la estructura y el reciclaje fue determinante en las rocas que ascendieron de nuevo a superficie.

En CP9 (Figura 184) la sección que corresponde al granito de Cuchivero presenta menor extensión respecto a los perfiles anteriores. Esto se debe a la curvatura que presenta la zona de sutura. El sistema estructural en esta parte es similar a los observados en otros lugares bajo la influencia de colisión, un corrimiento principal con retro-corrimientos en la parte anterior. No obstante, hacia la zona cortical de CRV se observan intrusivos correspondientes a Cuchivero y una cubierta volcánica que cubre la mayor parte del área. Este intrusivo de gran envergadura se encuentra localizado en el arco de islas, donde la corteza era un poco más gruesa permitiendo la cristalización granítica, y cuando el magma ascendía con mayor velocidad o por otros canales más directos cristalizaba en rocas volcánicas. Hacia el NE aparecen intrusivos de composición diferente como las cuarzo-monzonitas y zonas de alteración producto de estas, además de algunos pequeños sistemas de diabasas. En el caso de los primeros parecen ser previos o sincrónicos al magmatismo que generó a Caicara y Cuchivero, y cuya roca caja consistió básicamente en los CRV. En el caso de los segundos, las diabasas, son eventos magmáticos muy posteriores.

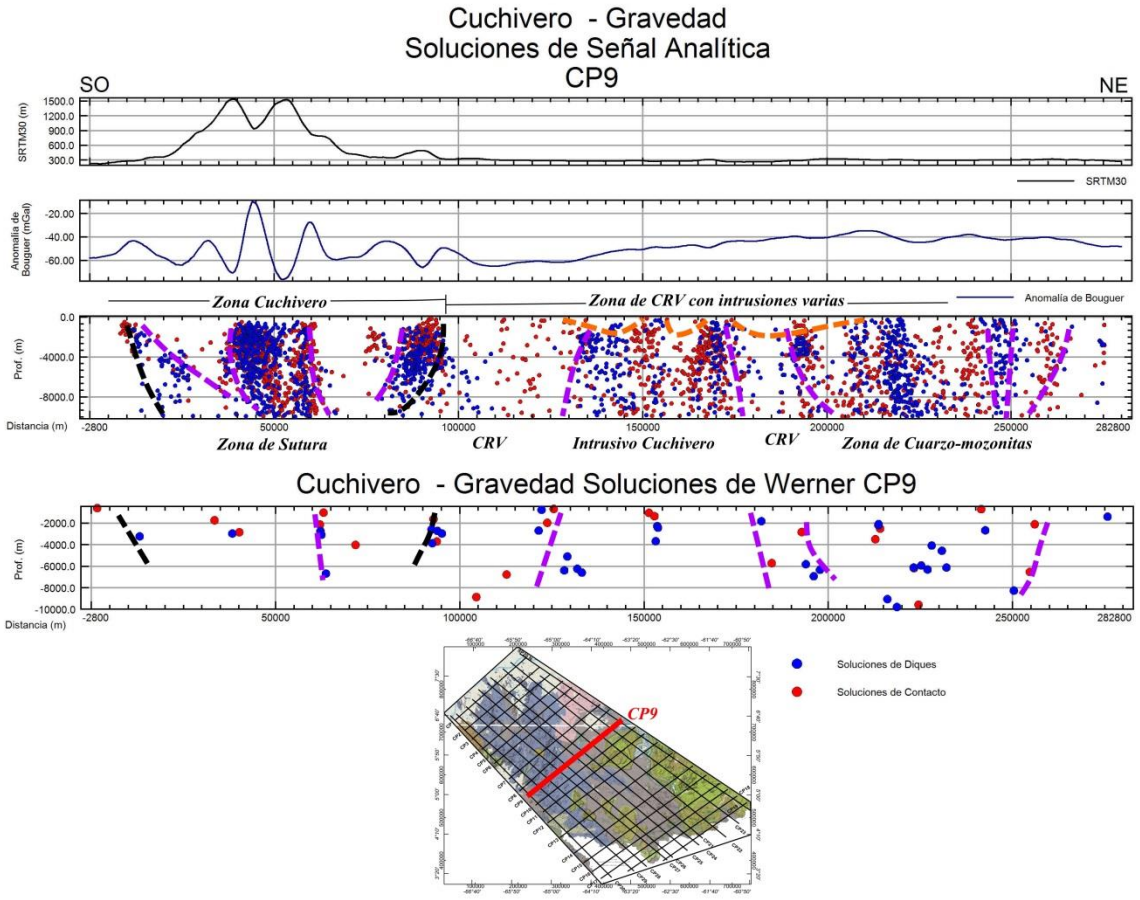


Figura 184. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP9 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = base de volcánica

CP10 (Figura 185) es un perfil que se aproxima al sistema de rift inferido ubicado detrás del arco. Este sistema comienza a observarse desde los 200.000 m del perfil con un conjunto de fallas aparentemente buzando hacia el NE y con una intrusión de composición no identificada. La sección Cuchivero en este caso es bastante reducida, comprendida básicamente en el sistema de colisión, con alteraciones de composición importantes, producto tanto de canales de ascenso como metamorfismo tectónico. Estructuralmente se configura de un corrimiento principal que buza hacia el SO con retro-corrimientos asociados contrarios. Hacia la zona central del perfil, continúa el intrusivo de Cuchivero en los CRV, y la zona de frontera entre ambas litologías no parece tener mucha influencia del régimen tectónico.

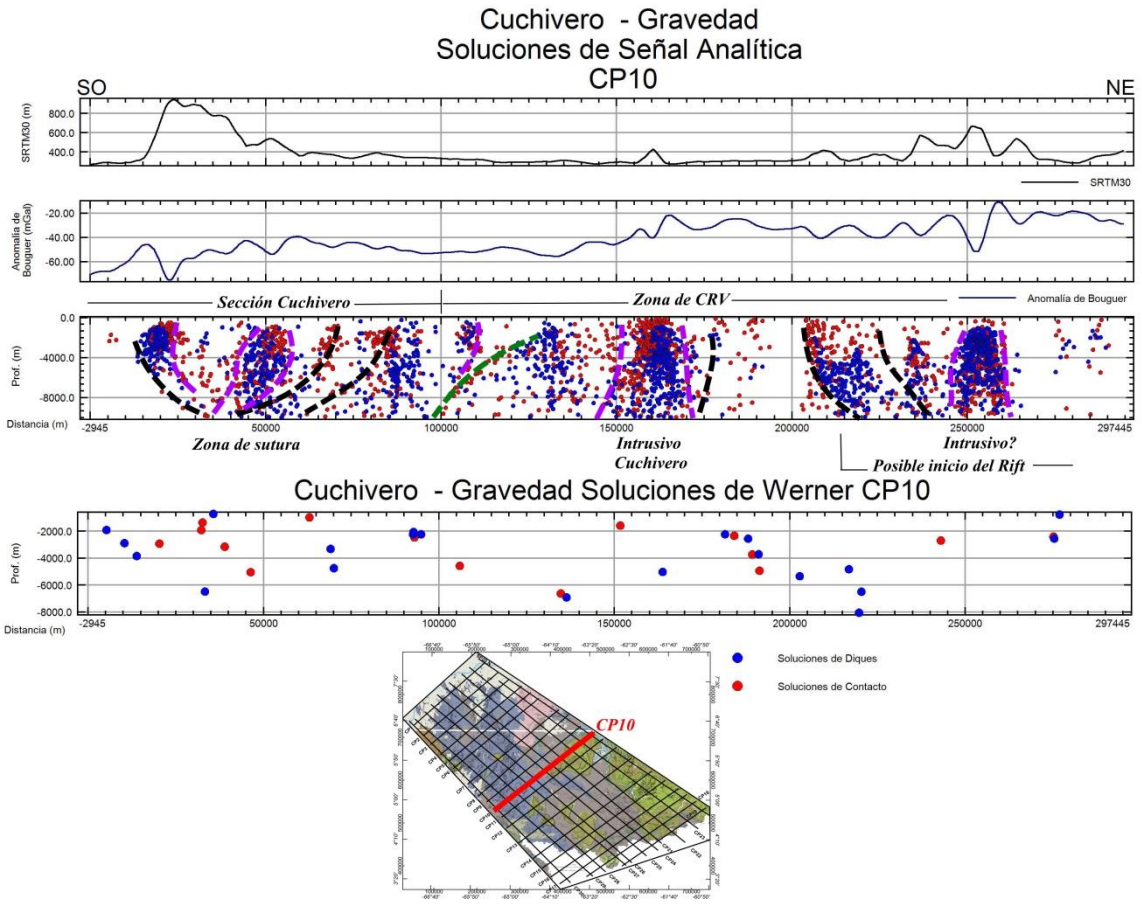


Figura 185. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP10 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV.

El perfil de la Figura 186 (CP11) muestra la configuración cortical más representativa de la sección central de la provincia de Cuchivero. Se configura en 3 subsecciones: a) zona de sutura entre 0 m y 100.000 m aproximadamente, b) zona de arco entre 100.000 m y 180.000 m del perfil, y c) zona de rift desde 180.000 m en adelante. La zona de sutura en este caso es precedida por el terreno plutónico metamórfico de San Carlos (mejor observado en los perfiles posteriores), y contiene un conjunto de alteraciones por el magmatismo de Cuchivero. Al relacionar los perfiles anteriores con este, se aprecia que la mayor actividad magmática granítica ocurrió hacia el oeste de la subducción, en la placa estable. En la placa subductante, los intrusivos de Cuchivero (como se observa en la zona de arco) eran de menor envergadura, donde prevaleció la somerización del magma que permitió la cristalización de las volcánicas de Caicara. En la zona de rift, las alteraciones magmáticas

(al menos en esta latitud y longitud) fueron menores en este período. Pero esta zona a su vez ya contaba con sistemas intrusivos que habían afectado a los CRV, y es por ello que contrastes de composición se observan, aparte de los que las fallas generan al colocar diferentes litologías en contacto. Posterior a todo ello, ocurrió el evento que permitió la cristalización de la asociación Avanavero quizás por canales y fracturas que las otras intrusiones habían ya utilizado.

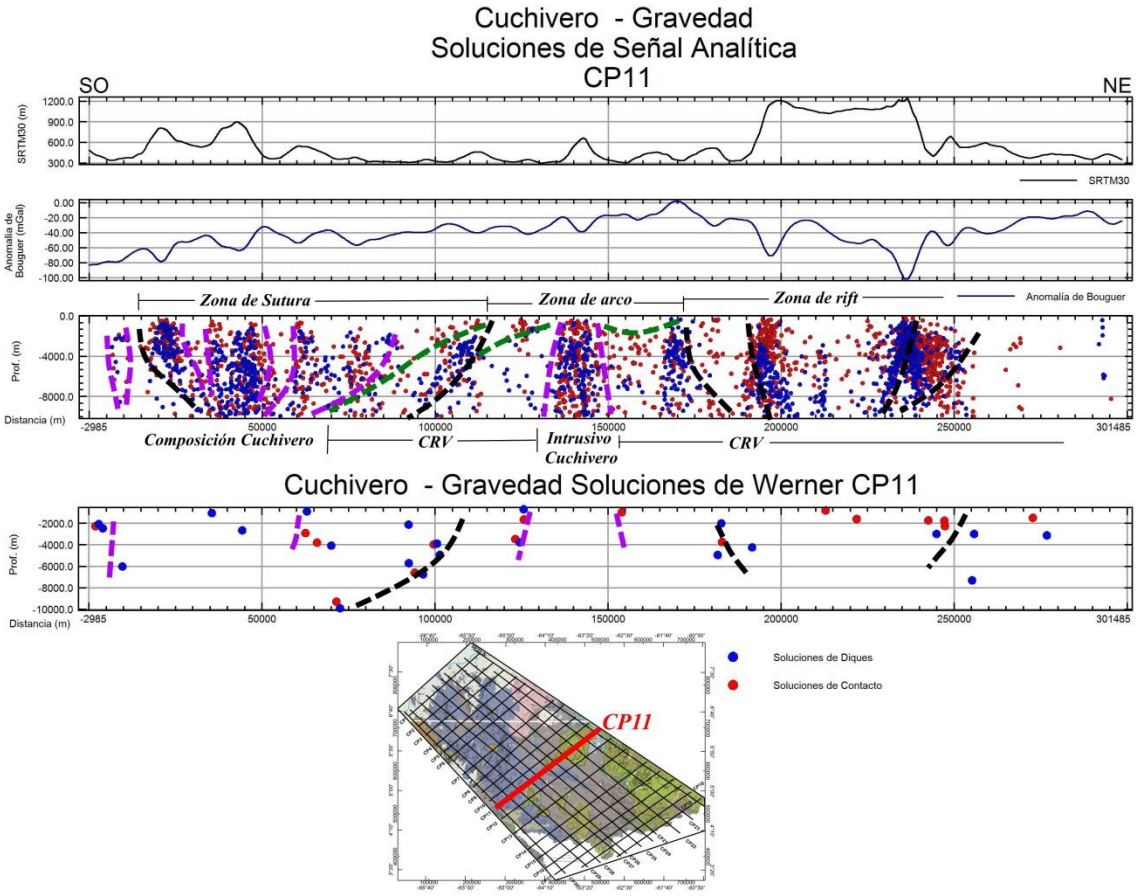


Figura 186. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP11 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV.

En la siguiente figura (Figura 187, CP12) los sistemas estructurales continúan, y la zona de sutura se hace más compleja, precedida por el terreno San Carlos ahora de mayor tamaño. La zona de arco se adelgaza longitudinalmente, y la zona de rift representa mayores alteraciones. La zona de sutura corticalmente parece estar compuesta en mayoría por rocas afines a Cuchivero, al menos los primeros 8 km. Estas rocas parecen haber intrusionado en

CRV, en una sección engrosada de los mismos. En la zona de mayor debilidad de estos CRV, ocurrió la fractura que venía migrando desde el este, generando la subducción. Es por este motivo que se observa un bloque cabalgado hasta unos 2 km de profundidad de CRV sobre otro de similar naturaleza, pero de composiciones probablemente distintas. El sistema de subducción migra de nuevo hacia el oeste de esta provincia cuando la subducción alcanza al arco de islas. La competencia que había adquirido esta sección de la corteza por la intensa actividad magmática evitó su subducción, y el sistema de rift anterior al arco se invierte parcialmente antes de reanudarse la subducción en el nuevo sector.

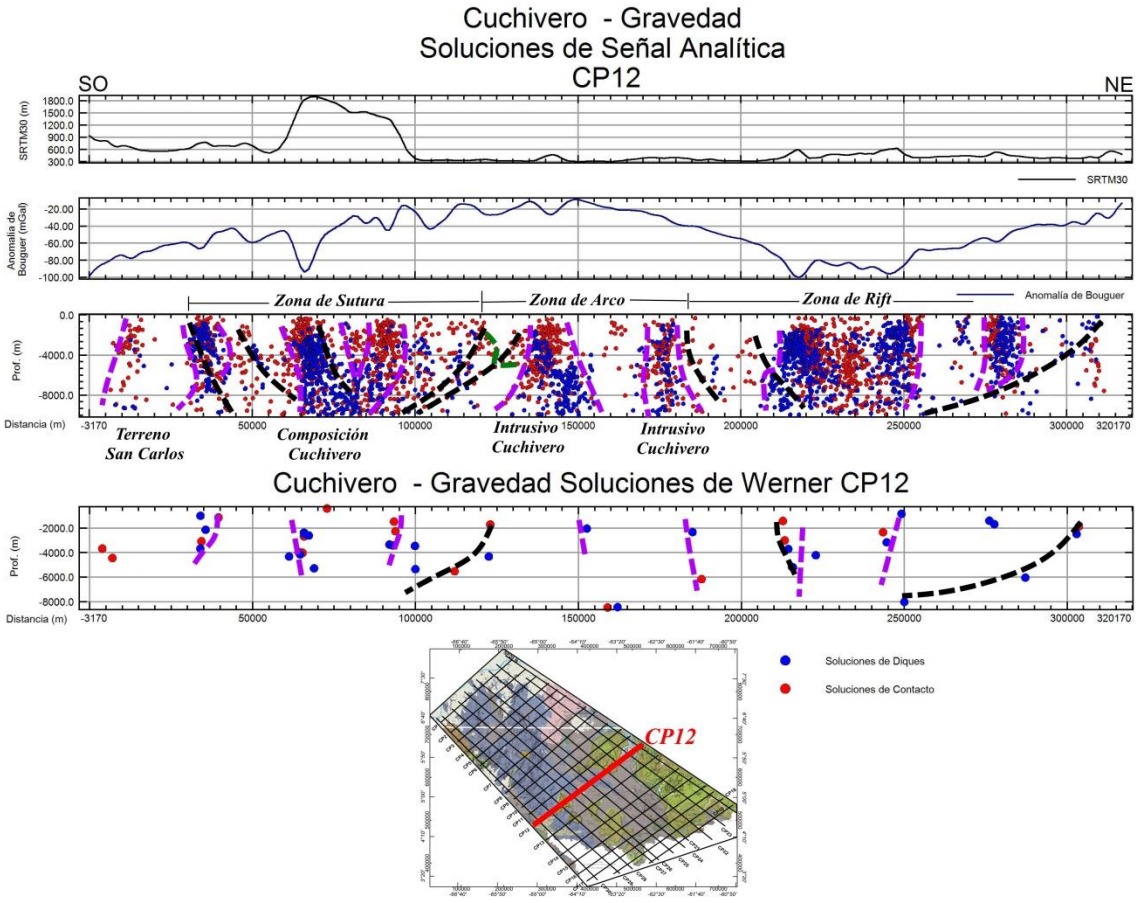


Figura 187. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP12 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV.

Ya en el perfil de la Figura 188 (CP13) la zona de sutura se trunca, y la colisión se hace oblicua. Es aun impreciso saber si en el momento de la colisión la misma ya era oblicua o adquirió esta disposición por eventos tectónicos posteriores. Sin embargo, el terreno San

Carlos presenta mayores dimensiones, y la composición de Cuchivero ya no es mayoritaria. Incluso es posible observar que la zona de ascenso es cercana a la falla de corrimiento, y luego esta roca se expande hacia el SO, a modo de batolito. El basamento donde descansan o al cual intruyó no se puede conocer con certeza, pero parece ser otro CRV.

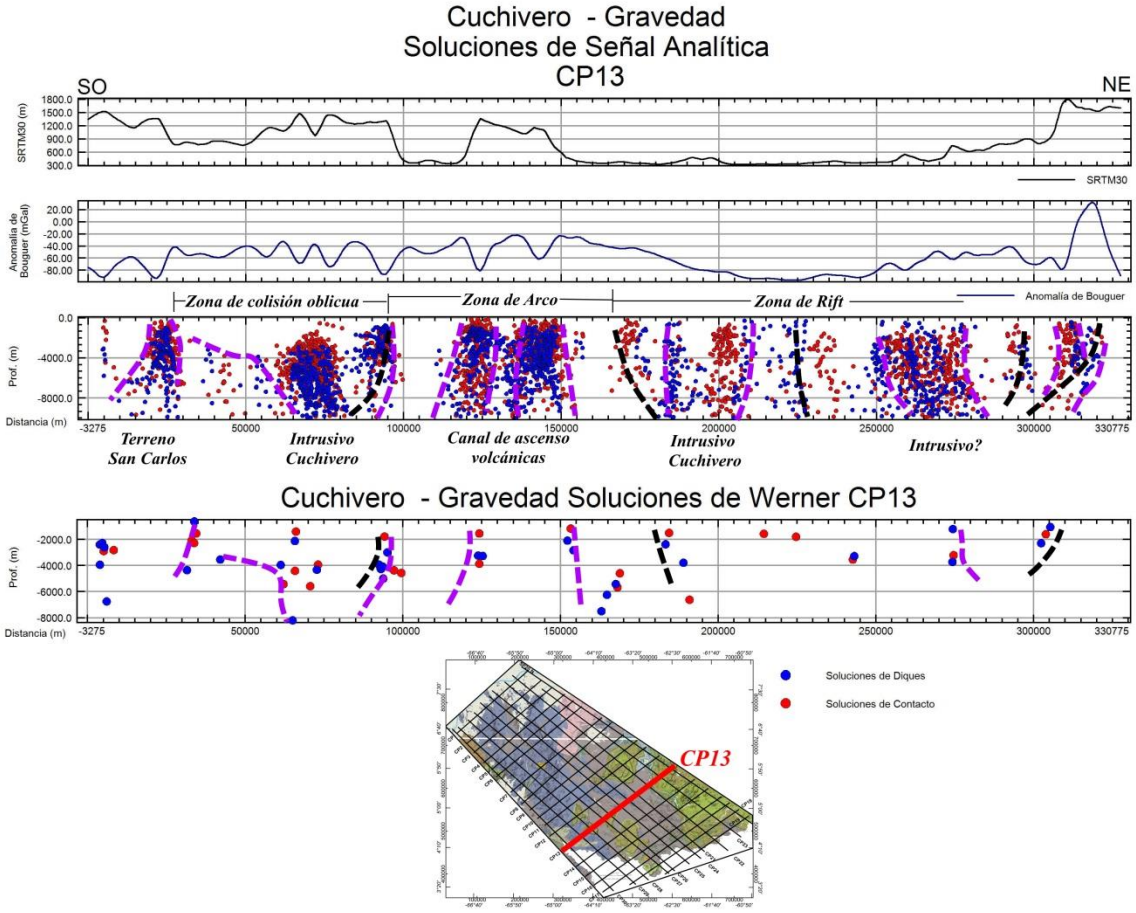


Figura 188. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP13 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV.

La zona de arco también es comprimida, y las intrusiones de Cuchivero aparecen cercanas o dentro del inicio de la zona de rift con menor intensidad magmática. En la parte central del rift se observan cambios de composición importantes, que podría corresponder con el ascenso magmático de la zona más adelgazada de la corteza. Esta intrusión se observa corrida de su posición central hacia el este debido a la inversión tectónica que ocurre por migrar la subducción.

Cuando se observa el mapa geológico se aprecia que las volcánicas de Caicara afloran también hacia el oeste de la cadena central de intrusivos de Cuchivero. Esto sugiere que los canales volcánicos se encontraban en ambos flancos del sistema.

El CP14 (Figura 189) inicia el truncamiento de los sistemas tectónicos analizados desde el occidente al centro de la provincia. La zona de colisión comprende menor área y el sistema parece no haber chocado frontalmente en este sector, sino de manera oblicua. No obstante, la zona de arco sí continúa, alterada por un conjunto de intrusivos de composición probablemente Cuchivero.

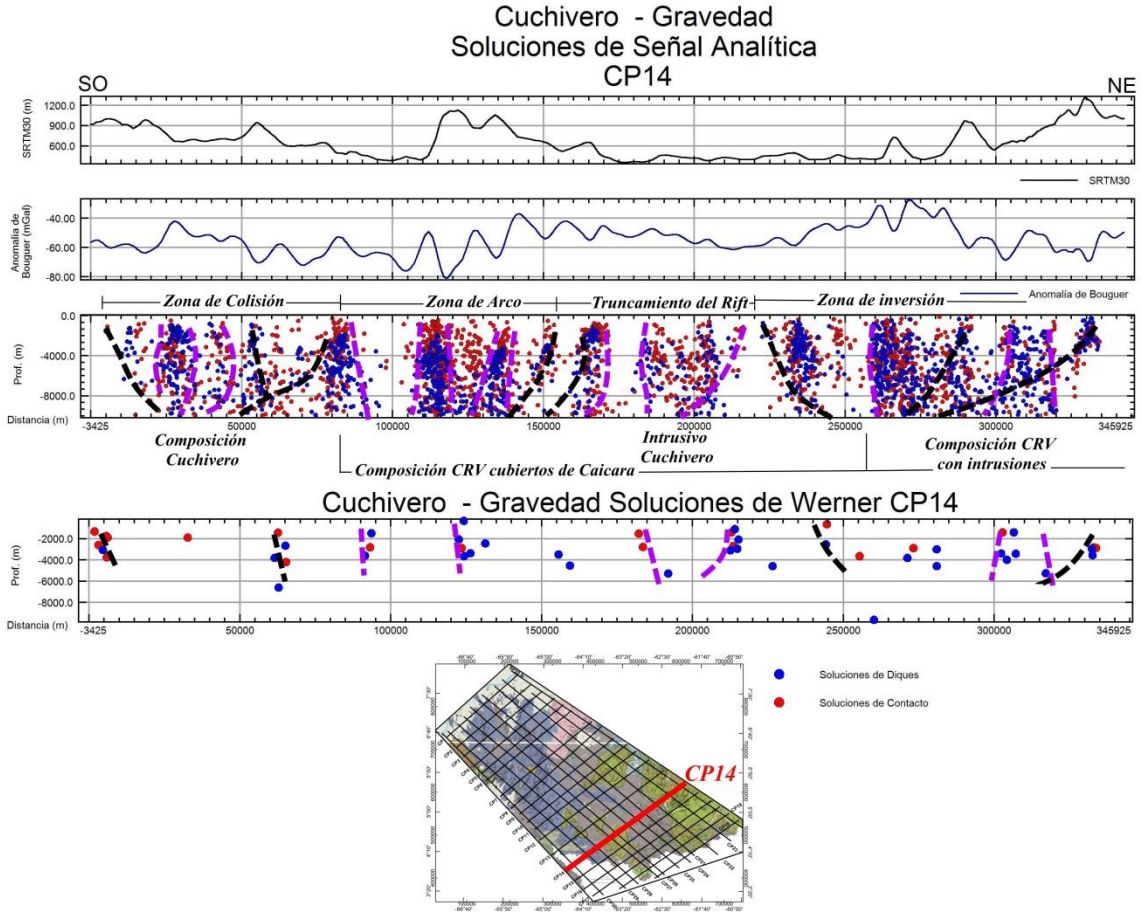


Figura 189. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP14 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición.

Hasta esta región la corteza parece estar compuesta mayoritariamente por estos granitos intrusivos en corteza CRV. En los 150.000 m del perfil el sistema tectónico cambia hacia el

cierre de la zona de rift, afectado también por ascenso magmático. En los 230.000 m aproximadamente se aprecia una región analizada en la provincia de Pastora, que comprende a un levantamiento de basamento inmediatamente colindante al rift, en el cual se observan numerosas intrusiones cuyas composiciones podrían corresponder con cuarzo-monzonitas las más antiguas y asociación Avanavero las más recientes. Debido a que en esta zona están mezcladas, es imposible discernir entre algunas u otras. Lo que se puede argumentar es el desarrollo magmático cortical de gran tamaño y la influencia tectónica de extensión y luego compresión que generó el levantamiento previo a la formación del rift durante la subducción.

Al observar la Figura 190, las principales características que habían descrito a la provincia son alteradas, principalmente desde 0 m a 200.000 m del perfil. Esto es debido a que el perfil se ubica en una latitud menor a los anteriores, donde la provincia adquiere una curvatura que la proyecta en disposición casi E-O. Allí, por este motivo y otros, los sistemas estructurales cambian de orientación. La zona de colisión es ahora caracterizada por los cambios de composición, quitando preponderancia a lo tectónico. Desde el inicio del perfil hasta los 130.000 m aproximadamente la corteza superior se encuentra compuesta de granitos de Cuchivero en contacto hacia el oeste con rocas que son denominadas basamento sin diferenciar en el mapa geológico que parecen encontrarse exhumadas. Todo ello cubierto de una capa variable de aproximadamente 1,5 km de volcánicas de Caicara y cualquier otra litología que separe en profundidad a los granitos de las rocas volcánicas. Esta base de separación es indicada en el perfil como “Base de Caicara”. El antiguo canal de ascenso se ubica probablemente en los 60.000 m del perfil. Hacia el este de este bloque cortical, la separación entre el mismo y el arco ocurre por fallamiento. Esta zona de arco se caracteriza, al igual que en toda la provincia, por contener intrusiones de gran magnitud que probablemente permitieron la gran extensión superficial que presenta Caicara. Internamente, es probable que la mayoría de esta corteza sea granito en el canal y rocas metamórficas de contacto con afinidad a CRV en los flancos del canal. A partir de los 200.000 m, la influencia de la asociación Avanavero es notable, con desarrollo magmático intracortical considerable, habiendo probablemente aprovechado fracturas formadas por intrusiones previas principalmente internas a los CRV.

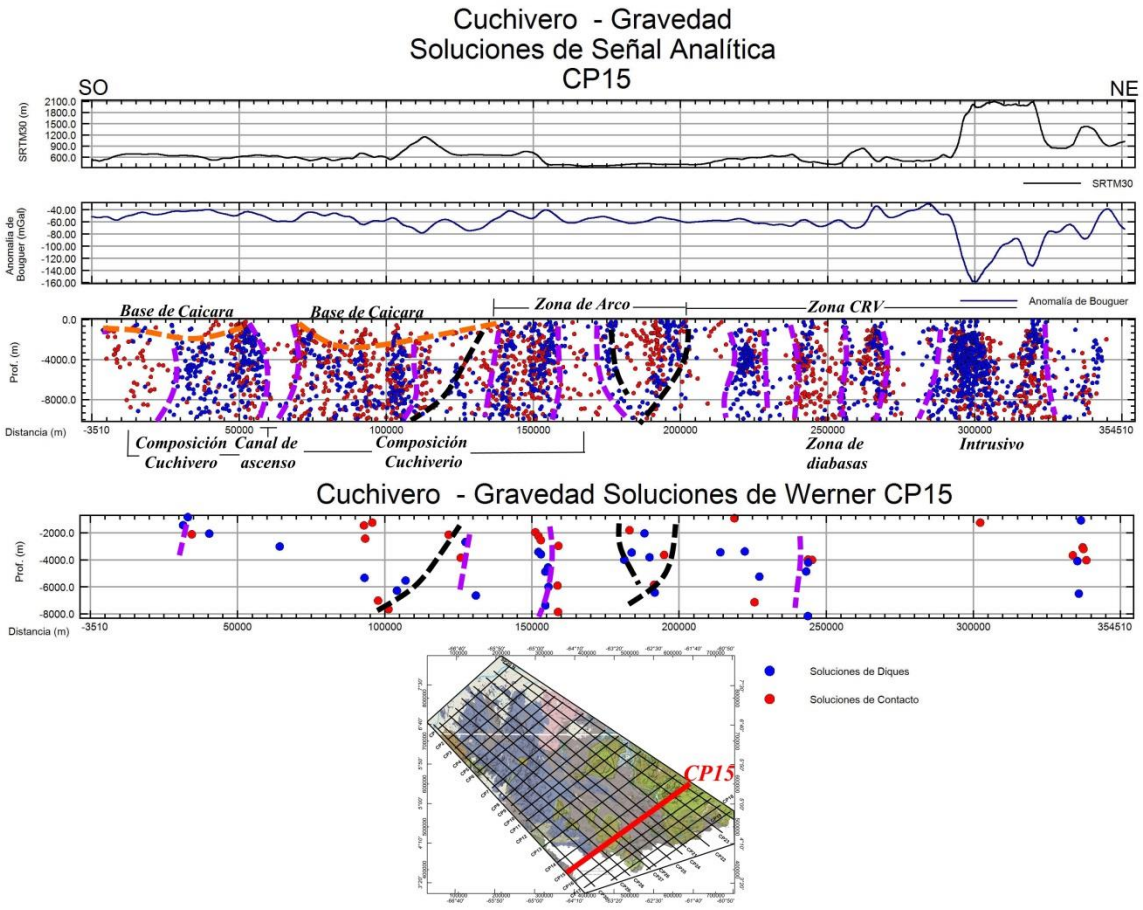


Figura 190. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP15 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = base de rocas volcánicas.

En el inicio del perfil CP16 (Figura 191) el contacto entre Cuchivero y el basamento sin-diferenciar exhumado podría corresponder con fallamiento de rumbo. Se debe mencionar que muy probablemente los CRV alcanzan a extenderse hasta estas longitudes. Estando el perfil más al sur del anterior, muestra un poco del régimen tectónico que condiciona la disposición de esta provincia al sur. Consiste en una colisión oblicua de baja influencia en lo compresivo, pero muy activa en los transcurrente. En este perfil la zona de arco está fuertemente fallada y alterada por canales de ascenso de magma de menor envergadura, pero en mayor cantidad. Es probable que esto se deba al sistema tectónico, donde al existir mayores fracturas producto de la transpresión, mayores canales de ascenso podían existir. Además, la baja influencia inversa de estas fallas no restringía tanto el rápido ascenso del magma, y es por ello que los granitos en este sector no son mayoritarios a nivel cortical y a

nivel superficial la capa de volcánicas se engrosa. Es decir, cuando la falla no presenta mayor influencia inversa, la misma no es capaz de colocar sellos sobre los canales de ascenso.

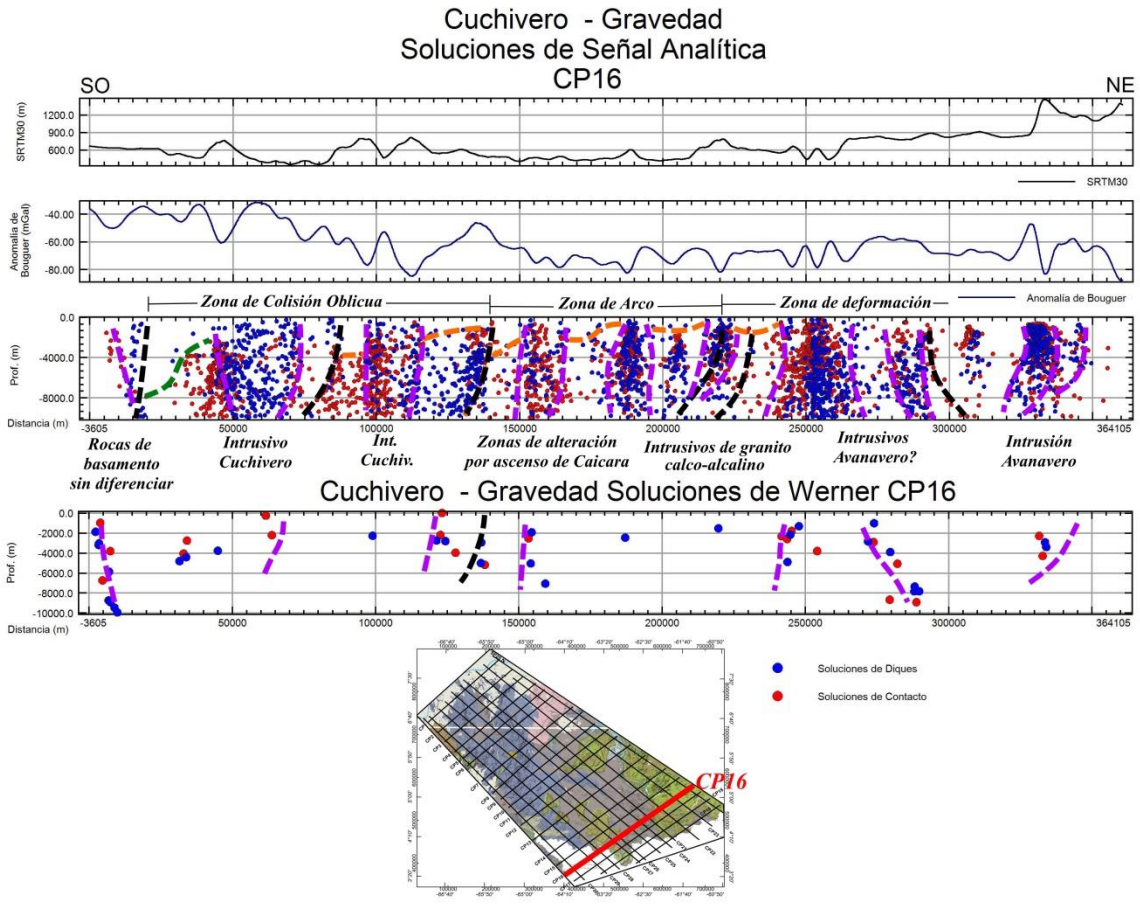


Figura 191. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP16 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV.

Posterior a los 200.000 m del perfil, intrusiones de granitos calco-alcalinos son observados. Esta litología es inferida debido al afloramiento de estas rocas en el mapa geológico donde se ubican estos cúmulos de soluciones. Hacia el este, se interpreta una zona de deformación producto de actividad magmática posterior a las intrusiones masivas. Estos cuerpos, concuerdan con la ubicación de rocas de Avanavero, donde el de mayor tamaño no alcanza a aflorar. Es probable a su vez que este cuerpo de mayor tamaño no corresponda con Avanavero, sino con algún intrusivo anterior interno a los CRV, ya que la composición cortical de esta región sugiere ser CRV. En el siguiente perfil, la prolongación de este

cuerpo hacia el sur se encuentra cortado por una falla de rumbo en la ubicación 250.000 m del CP17 (Figura 192).

El perfil CP17 (Figura 192) está constituido en su mayoría por rocas afines a CRV a nivel cortical. Desde el inicio del perfil hasta aproximadamente 140.000 m las intrusiones observadas deberían corresponder a granitos de Cuchivero. Posteriormente, las intrusiones cambian a una composición de granitos calco-alcalinos, probablemente debido al cambio tectónico observado y al truncamiento del arco. El sistema tectónico al este cambia de vergencia, observado en mapas también con el cambio de concavidad que presenta el límite.

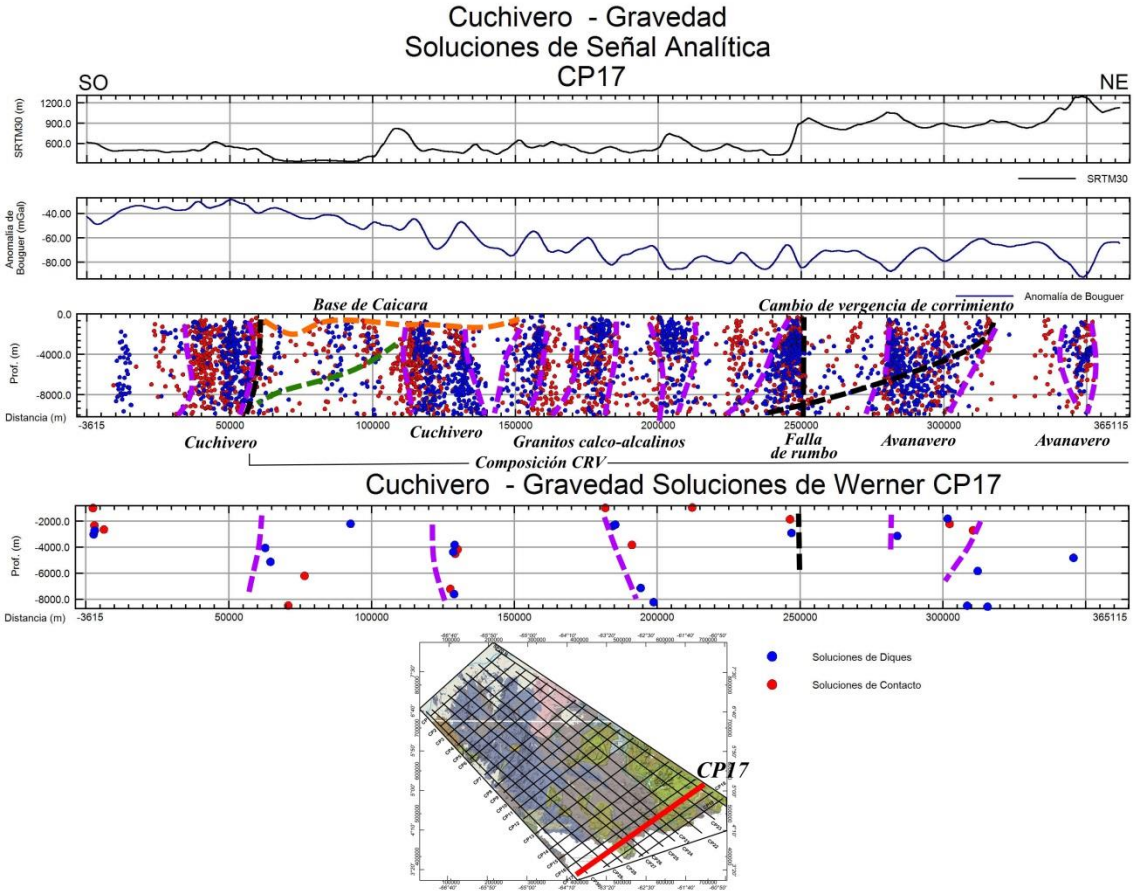


Figura 192. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP17 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV; guiones naranja = base de Caicara.

Hacia este sector, las intrusiones corresponden a la asociación Avanavero principalmente, aunque, sin embargo, no se descarta que algunos intrusivos alcancen solo el nivel de profundidad de los CRV, y que los mismos sean de diferente composición y naturaleza. Esta aparente confusión o imposibilidad de discernir radica en que las soluciones se encuentran mezcladas.

CP18 (Figura 193) es un perfil que corta lo que parece configurar una zona de bandeamiento intrusivo. Es decir, se observa un cambio temporal de los intrusivos semi-paralelo a los principales lineamientos tectónicos asintóticos hacia el sur. Hacia el sureoste los intrusivos dominantes se componen principalmente de Cuchivero, hacia la sección central del perfil, entre 100.000 m y 200.000 m del perfil, se componen de granitos alcalinos y hacia el noreste, ya sobre el corrimiento, se componen principalmente de la asociación Avanavero. La mayor parte del perfil se encuentra cubierto por una coraza de espesor variable de rocas volcánicas de Caicara, con excepción donde los intrusivos afloran y donde las sedimentarias de Roraima se encuentran. Lo más probable es que por debajo de Roraima y de Caicara se dispongan amalgamamientos de CRV, por la intensa variabilidad composicional y franjas sub-horizontales que en algunas ocasiones se observan. La falla de rumbo ubicada hacia el suroeste del perfil rompe la continuidad del sistema de colisión, corriendo hacia el norte la sección que se observa desde los 25.000 m del perfil aproximadamente.

Este patrón tectónico podría ser producto del doblamiento que sufre la provincia cuando los demás cuerpos continentales se fueron adicionando en el suroeste, hacia el Estado Amazonas y el norte de Brasil. Hacia el suroeste de esta falla, la composición cortical debería corresponder con los cinturones de alto grado de entre 2,08 y 2,02 Ga, que corresponden en parte con el cinturón de granulitas de Bakhuis y los cinturones Cauarane-Kanuku-Coeroeni, y los cinturones Uraricoera-Trairão-Urubu-Anauá-Sur de Guyana que se encuentran dispuestos entre los primeros y Cuchivero. Ya en la Figura 194 (CP19) esta misma falla de rumbo parece encontrarse interna a los cinturones mencionados.

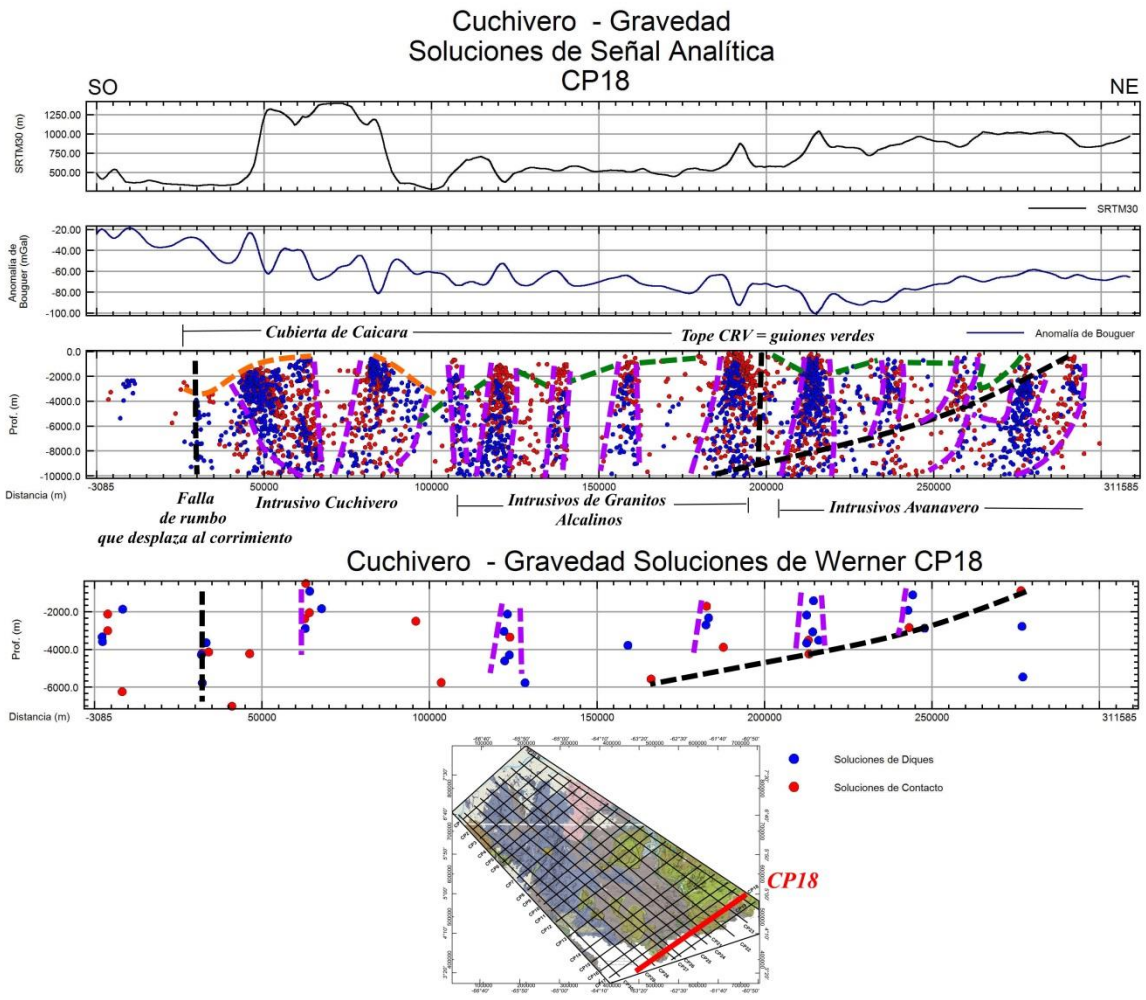


Figura 193. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP18 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV; guiones naranja = base de Caicara.

En el CP19, la composición cortical sugiere ser similar al anterior, con la diferencia en el ángulo de apreciación del corrimiento hacia el noreste. El bandeamiento ocurre con menor extensión, siendo los cambios litológicos de menor envergadura, y ocupando los cinturones propios de la litología del norte de Brasil mayor extensión, principalmente entre 0 m y 50.000 m del perfil aproximadamente. A partir de esta ubicación, el contraste con Cuchivero es evidente, marcado por un gran cúmulo de soluciones de al menos 25.000 m de extensión. Todas las superficies de tope de CRV evaluadas tienen un buzamiento o aumento de profundidad hacia el sur, indicando que estas rocas hacia el sur fueron

probablemente consumidas por la subducción, lo cual contrasta con el norte de la provincia donde bloques enteros de CRV fueron obducidos parcialmente.

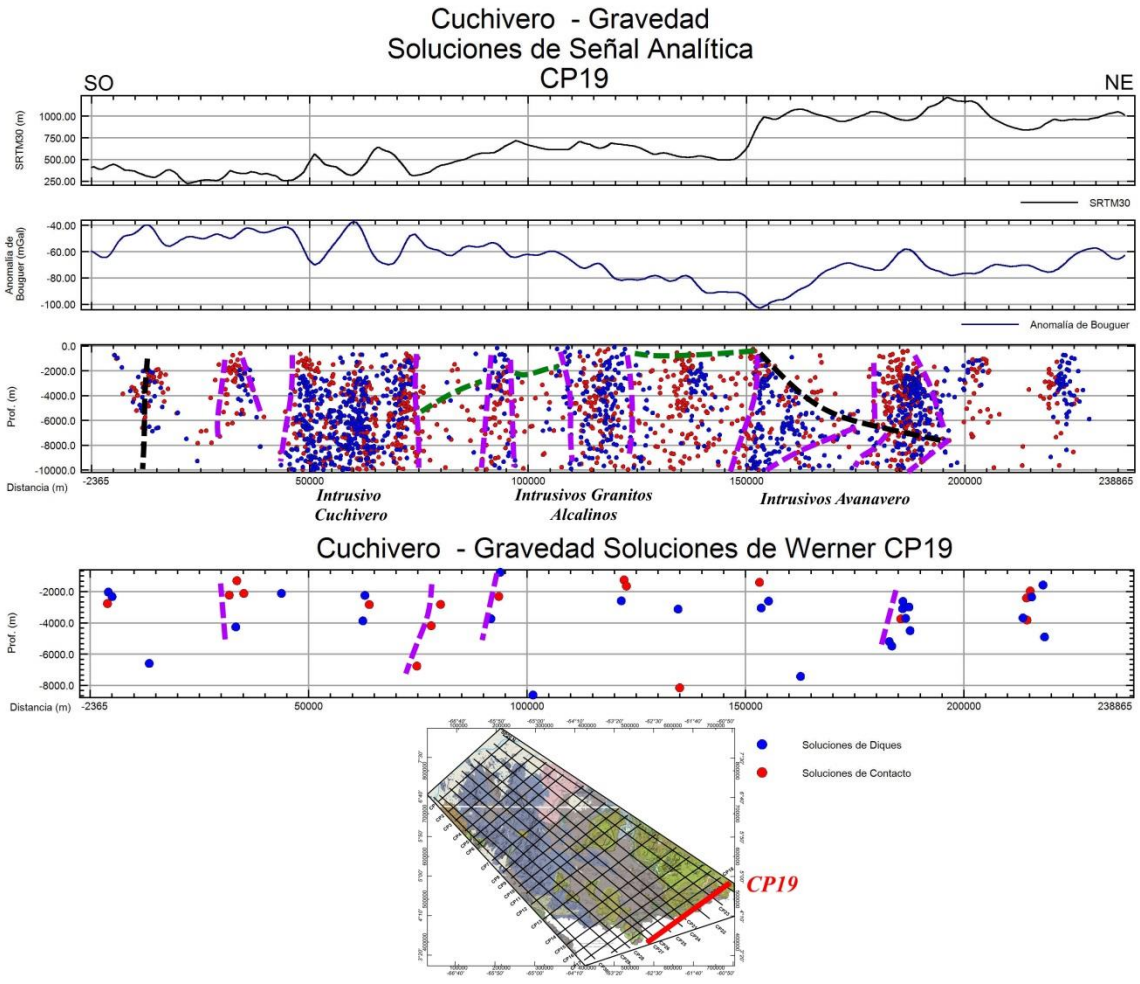


Figura 194. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en CP19 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones verdes = tope de CRV.

Por lo anteriormente observado en los perfiles analizados hasta el momento de la provincia de Cuchivero, es pertinente relacionar todos los aspectos observados con la interpretación estructural de la provincia plasmada en la Figura 195. Todas las estructuras y cambios de composición coinciden y enriquecen la información geológica evidenciada en el mapa. El eje central o de mayor envergadura compuesto principalmente de granitos de Cuchivero se encuentra delimitado por un conjunto de fallas que, en algunos casos por cambios tectónicos, se dividen en bloques que podrían ser clasificados en cuatro (4) zonas

primordiales. En el norte, se encuentra el bloque de granitos de mayor tamaño, que incluye en su zona central la existencia de volcánicas de Caicara; esta zona es compleja por la particularidad que se encuentra en interacción con la provincia de Imataca y los CRV al mismo tiempo, con un cambio de orientación de las estructuras hacia el sur. Este cambio se encuentra denotado por la curvatura del sistema de fallas oriental.

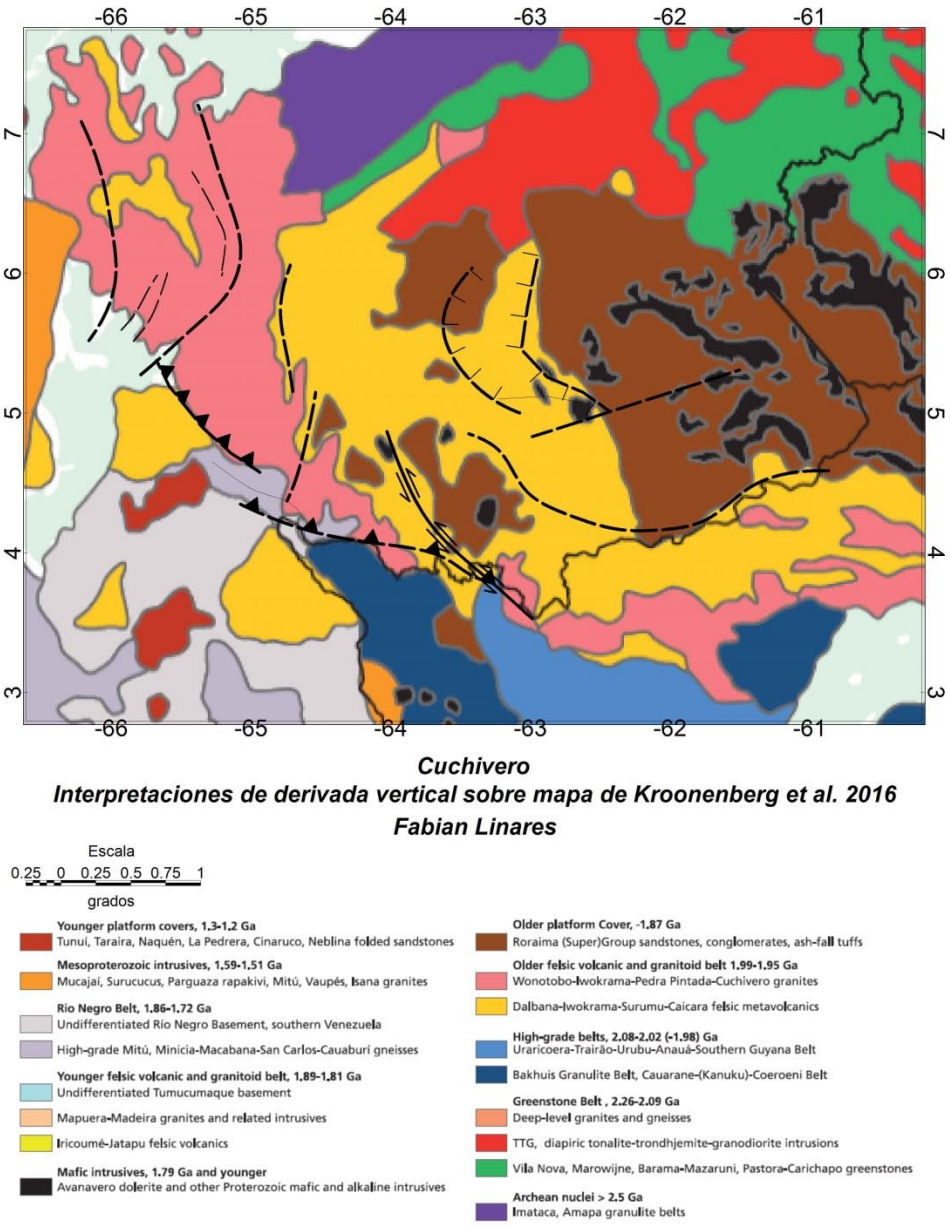


Figura 195. Mapa geológico de Kroonenberg *et al.* (2016) con sistemas estructurales interpretados a partir del análisis del mapa de derivada vertical de datos de gravedad.

Entre latitudes 4,5º y 5,5º aproximadamente, se encuentra el bloque central encerrado por un corrimiento hacia el oeste y un sistema de falla de naturaleza sin-diferenciar hacia el este, cortados hacia el sur por una falla rumbo deslizante que ocasiona una disposición similar a un embudo. El bloque se caracteriza a su vez, por presentar cambios en la disposición de las fallas internas de menor influencia, siendo en el bloque norte principalmente NNO-SSE, y en este bloque presentan una orientación ENE-OSO.

Hacia el sur de este bloque, se encuentra uno triangular de menor tamaño que ubica el cambio de sentido y truncamiento del sistema de subducción, limitado al sur por un sistema de corrimiento que separa a Cuchivero de los cinturones brasileños y hacia el noreste por la falla de rumbo que desvía a los intrusivos de Cuchivero y permite la curvatura. Posterior a él, hacia el sureste, la provincia adquiere una disposición casi E-O, cuya frontera sur se encuentra en contacto con los cinturones brasileños, alternando su contacto entre ellos. La disposición de estos a su vez es similar a la que presenta la provincia, pero teóricamente los mismos no se adentran hacia territorio venezolano, como se observa en la ubicación aproximada 4ºN/64,5ºO.

Adicionalmente, en el mapa se puede apreciar entre -64º y -61º y entre 4º y 5º una estructura que podría ser de corrimiento relacionado a los límites orientales de los granitos de Cuchivero, pero con vergencia contraria y desplazada hacia el norte por la falla de rumbo descrita. Esto infiere que probablemente la posición primitiva de Cuchivero era NO-SE sin la curvatura que hoy día presenta.

La Figura 196 representa las soluciones para el perfil CP20. En ella, las soluciones han sido promediadas mediante la herramienta de "*cluster*" para ambos tipos de soluciones, debido a que el perfil es de gran tamaño y la cantidad de soluciones no permitía una representación adecuada. Los parámetros de cálculo fueron 5 soluciones en mitad de ventada horizontal de 2000 m y mitad de ventana vertical de 500 m. Todos los perfiles con esta orientación para la provincia de Cuchivero presentarán este formato de soluciones.

Hacia el NO del perfil, se observa el contacto entre Imataca y Chichivero, a través de una discreta falla aparentemente inversa. Parte del intrusivo de Cuchivero se encuentra sobre el tope de Imataca. A su vez, esta última presenta sistemas intrusivos silícicos internos de gran tamaño (AXgr) y se encuentra limitada hacia el sur por la prolongación del sistema Guri en

la zona de bisagra anteriormente detallada. En la parte media del perfil, inicia la influencia estructural del(los) sistema(s) de rift, marcados también por numerosas intrusiones de la asociación Avanavero. La mayor parte de cobertura de esta zona corresponde a Caicara. El intrusivo hacia el sur de esta sección media podría corresponder a otro tipo de intrusivos más antiguos, por sus características soluciones parece ser similar a aquellas descritas en los CRV.

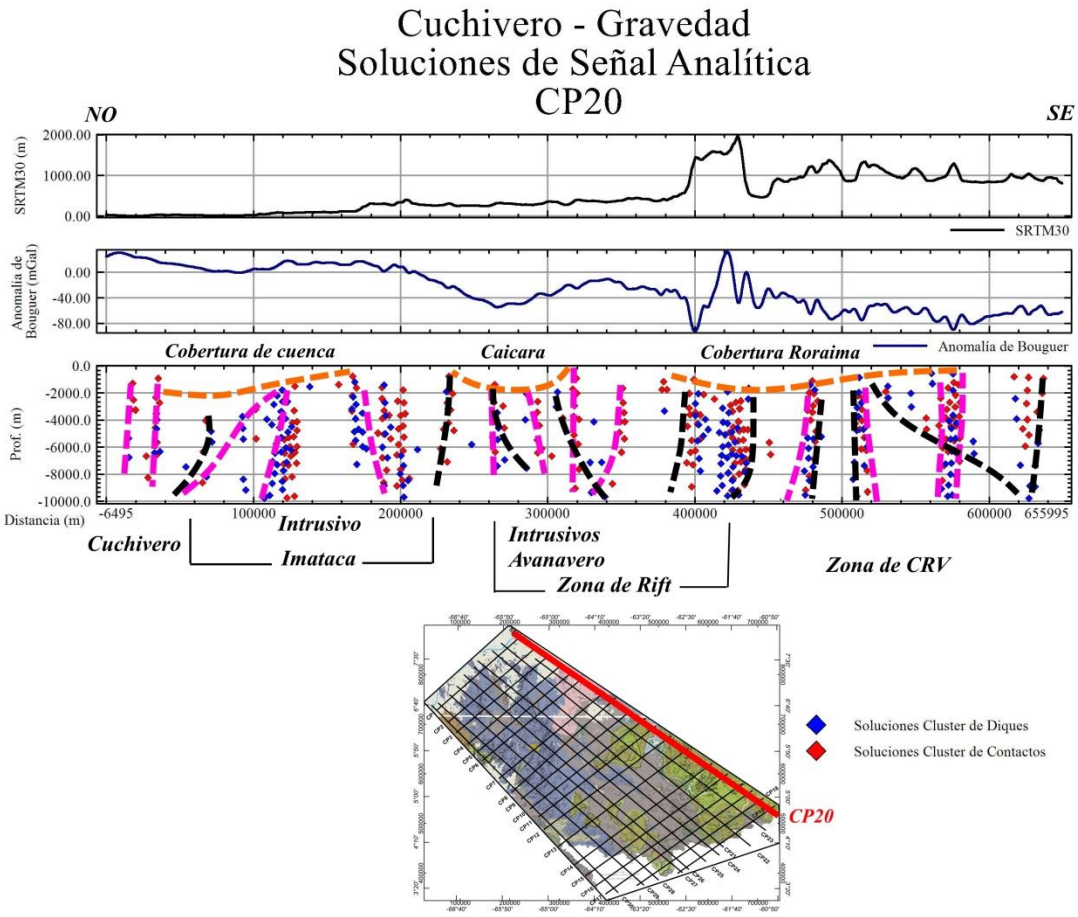


Figura 196. Soluciones de señal analítica en CP20 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas.

Por la ubicación del perfil, y por lo observado corticalmente, la mayoría del mismo se encuentra sobre dominio de CRV. La zona media del rift corresponde a litología probablemente afín a Supamo, y de resto, todo lo cortical es CRV. Los eventos geológicos que representan mayores contrastes de densidad para este perfil corresponden a los sistemas

estructurales ubicados hacia el SE e intrusivos de la asociación Avanavero. Hacia los 500.000 m del perfil, se observa un canal de ascenso magmático interno a los CRV de gran envergadura, que parece corresponder con aquellos descritos en el capítulo de Pastora.

El perfil CP23 (Figura 197) hacia el NO representa de igual manera el contacto entre Imataca y Cuchivero semi-vertical, con influencia de un sistema de fallamiento. Hacia esta frontera, se encuentra el intrusivo silíceo interno a Imataca. La frontera sur la delimita la prolongación de Guri, que marca el inicio de la prolongación de un alto estructural interpretado a partir de los mapas de realce. El tope de este alto estructural aparentemente alcanza los 6000 m de profundidad, donde la corteza se compone teóricamente de CRV deformados. Litología suprayacente debería constituirse de rocas afines a Supamo, ya que se observan canales de flujo magmático del mismo hacia su frontera sur, donde inicia el rift. Hacia la superficie, con aproximadamente 2.000 m de espesor, Caicara cubre toda esta sección entre 150.000 m y 250.000 m aproximadamente.

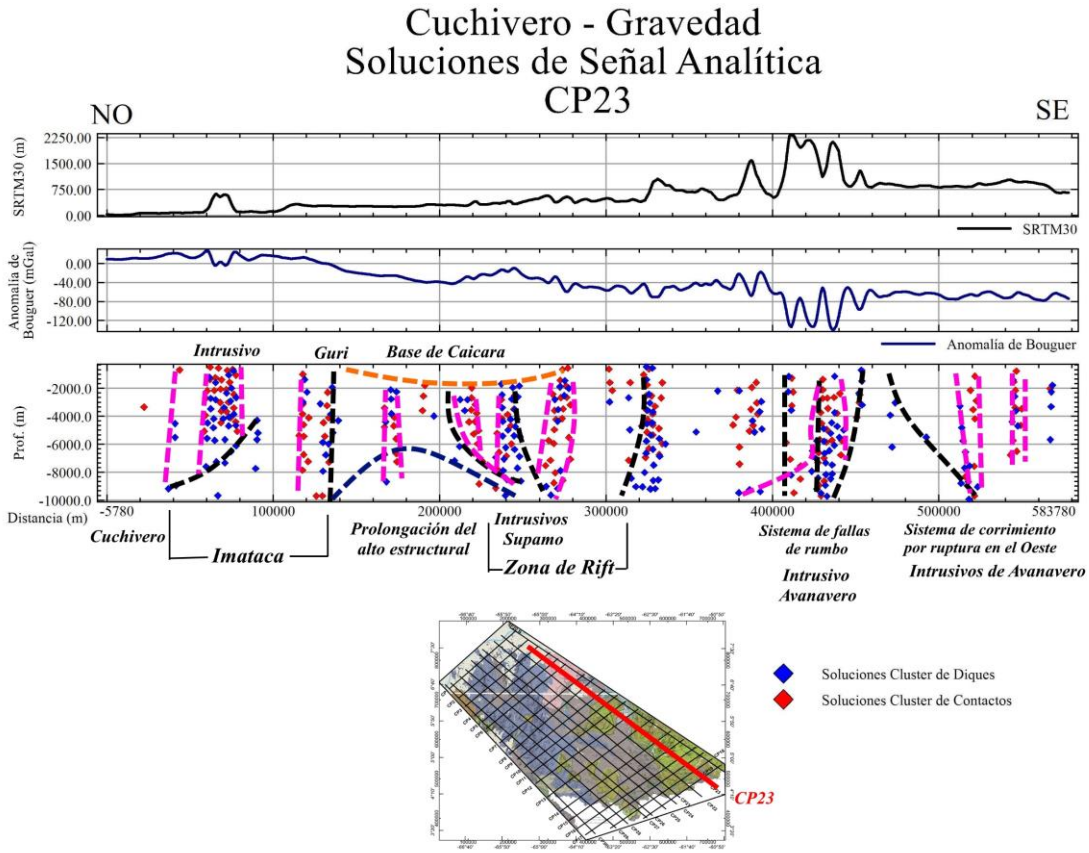


Figura 197.Soluciones de señal analítica en CP23 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = prolongación del alto estructural.

Desde los 250.000 m del perfil hacia el SE, la corteza se encuentra compuesta principalmente de CRV, cubiertos por una capa de Caicara y posteriormente sedimentos de Roraima. Todo fallado por sistemas rumbo-deslizantes y alterado por intrusivos de Avanavero.

El perfil CP22 atraviesa gran parte de las estructuras notorias de la provincia Cuchivero (Figura 198). Hacia el NO, varias diferenciaciones magmáticas se encuentran en Cuchivero, producto posiblemente de enfriamiento diferencial, donde toda la sección parece estar constituida de lo mismo (granitos) hasta la frontera con Imataca. En este perfil, el contacto entre ambas provincias cambia de naturaleza, y la extensión de Imataca en lo cortical es bastante limitada, cuya frontera la representa una falla de corrimiento del brazo caracterizado ya en el capítulo de Imataca. En este sector, un bloque de Imataca se encuentra cabalgando a Cuchivero. No obstante, existe un intrusivo que atraviesa a esta falla, sugiriendo que el evento tectónico ocurrió antes o sincrónico a la actividad magmática. En los 220.000 m aproximadamente del perfil, se encuentra el límite entre Imataca y Supamo, encontrándose Supamo como un pequeño bloque superficial de unos 6.000 m de espesor supra-yacente al alto estructural (compuesto posiblemente de CRV). A su vez, Supamo en este sector se encuentra cubierto por volcánicas de Caicara hasta el inicio del sistema de rift. No se descarta que dentro del rift, exista Caicara, pero la cobertura sedimentaria de Roraima. Interno al sistema de rift, numerosas intrusiones pueden apreciarse, principalmente las que corresponden a la asociación Avanavero.

El rift en este perfil parece culminar en los 430.000 m, y a partir de allí, la composición cortical es característica de CRV, cubiertos por rocas de Caicara de unos 2.000 m de espesor, que infrayacen a Roraima. Hacia el SE, entre 500.000 m y 600.000 m, el sistema de cabalgamiento cambia de vergencia respecto al perfil anterior, donde se simula una subducción. Dos (2) cuerpos intrusivos de gran tamaño son observados en esta sección, posteriores al evento tectónico, probablemente no pertenecientes a Avanavero, debido a que estos no atraviesan la cobertura de Caicara. Tampoco son intrusivos previos durante la amalgama de los CRV, porque la falla no los desplaza aparentemente. La composición de

los mismos no es asociable a ninguna litología aflorante. Lo que sí ocurre, es que las fracturas generadas por estos sistemas permitieron luego canales de ascenso para Avanavero, pero con dimensiones reducidas (basado en que no tienen casi soluciones y además en superficie son cuerpos pequeños).

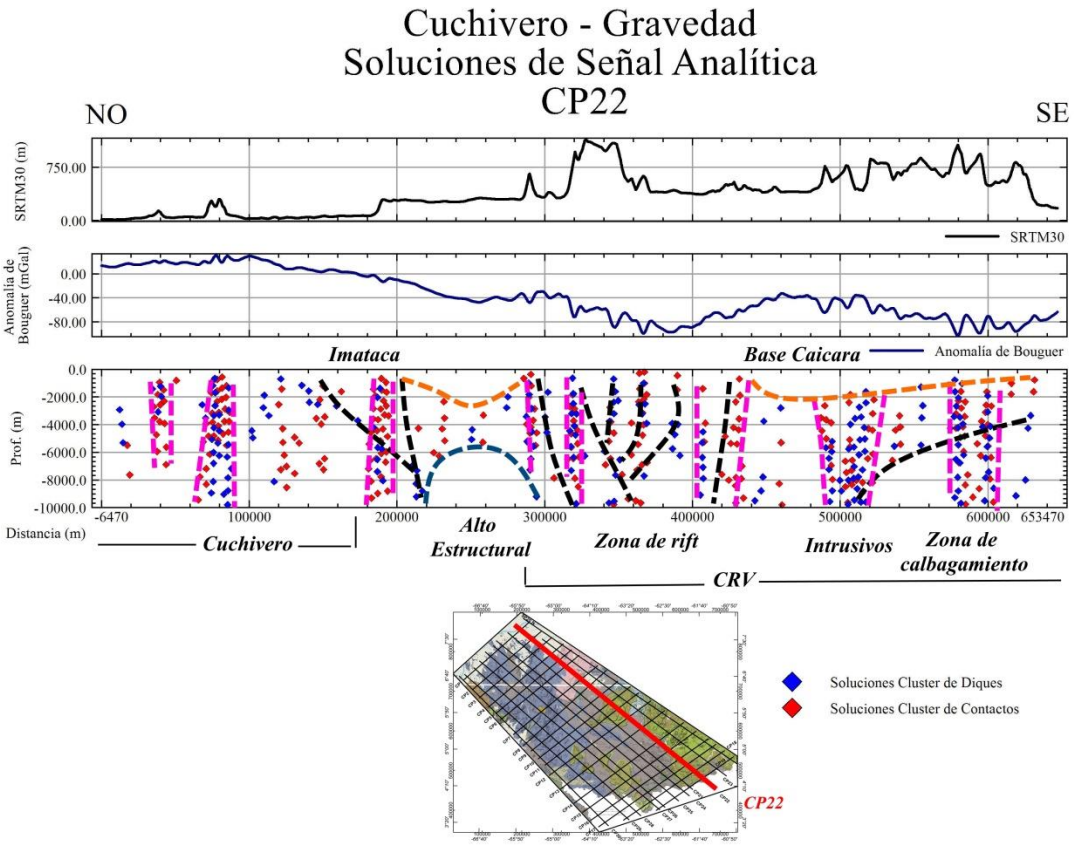


Figura 198.Soluciones de señal analítica en CP22 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = prolongación del alto estructural.

El siguiente perfil (CP21-Figura 199) se encuentra compuesto por tres (3) zonas principales: a) de 0 m a 200.000 m compuesto principalmente de Cuchivero con algunas variaciones magmáticas y estructurales ubicadas en el sistema de altos relieves; b) entre 200.000 m y 350.000 m, siendo la parte norte compuesta de Imataca hasta 4.000 m de profundidad, seguida al sur por la zona de alto estructural (truncada hacia el norte por un sistema de falla semi-vertical que sigue el camino de un intrusivo) que limita al sur con el inicio del rift, compuesta por debajo de los 6.000 m de profundidad de CRV, en superficie principalmente por unos 4000 m de espesor de Supamo y luego 2.000 m de Caicara; y c) a

partir de 350.000 m hacia el SE, donde el rift se engrosa y es afectado en las paredes laterales del mismo por sistemas intrusivos de diferentes composiciones. En esta última sección es posible que se observe el máximo adelgazamiento cortical debido a la ausencia de soluciones. Este sistema se encuentra limitado al sur por una falla de corrimiento, donde hacia el SE, se observan intrusivos que podrían corresponder con granitos calco-alcalinos.

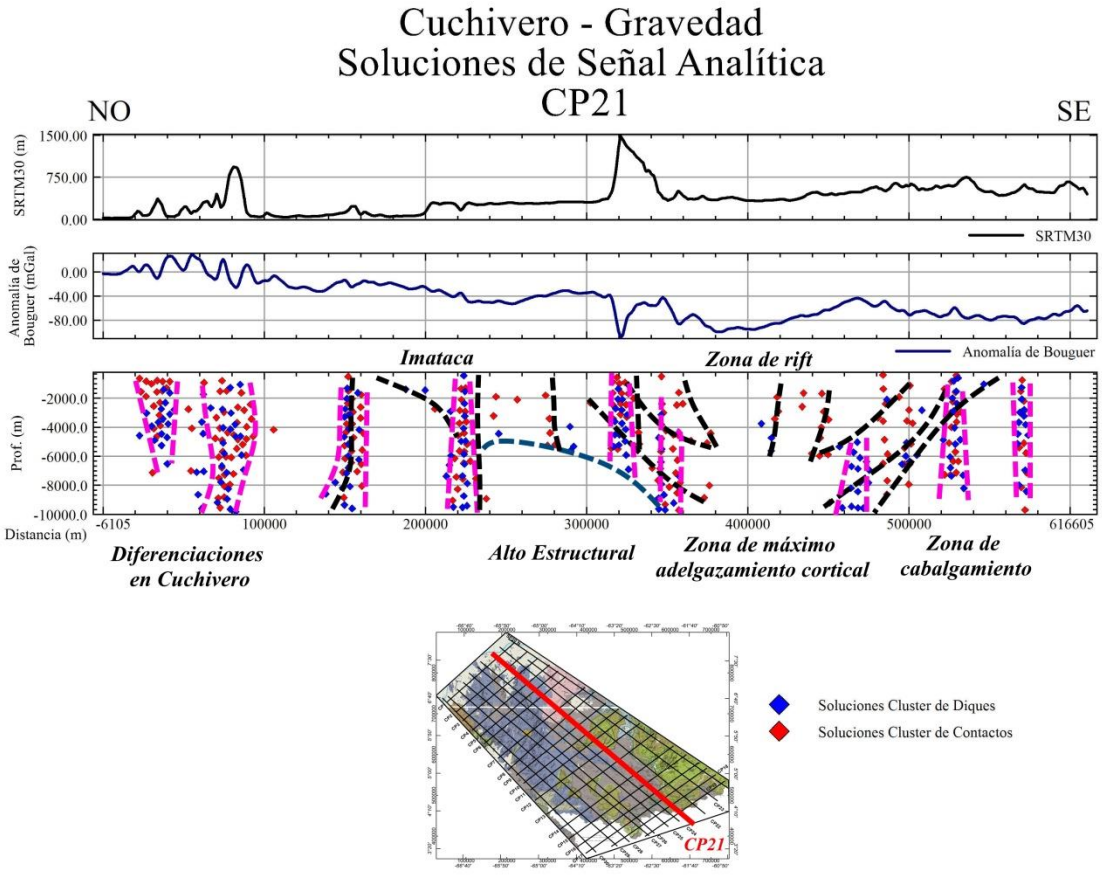


Figura 199. Soluciones de señal analítica en CP21 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural.

En el perfil CP24 (Figura 200) se presentan numerosos cambios de composición y estructurales. Hasta los 200.000 m del perfil, la composición predominante es granitos de Cuchivero, con una delgada capa superficial de volcánicas de Caicara. Uno de los canales de ascenso magmático es detectado, justo debajo de una elevación topográfica importante. El resto de la sección se caracteriza por un conjunto de fallas de cinemática desconocida. Hacia el sur, el contacto con Imataca podría ser de naturaleza combinada, tanto de falla

como de cambio de composición. En este perfil, Imataca representa solo un pequeño bloque emplazado de unos 30 km de extensión que alcanza una profundidad máxima de 6 km.

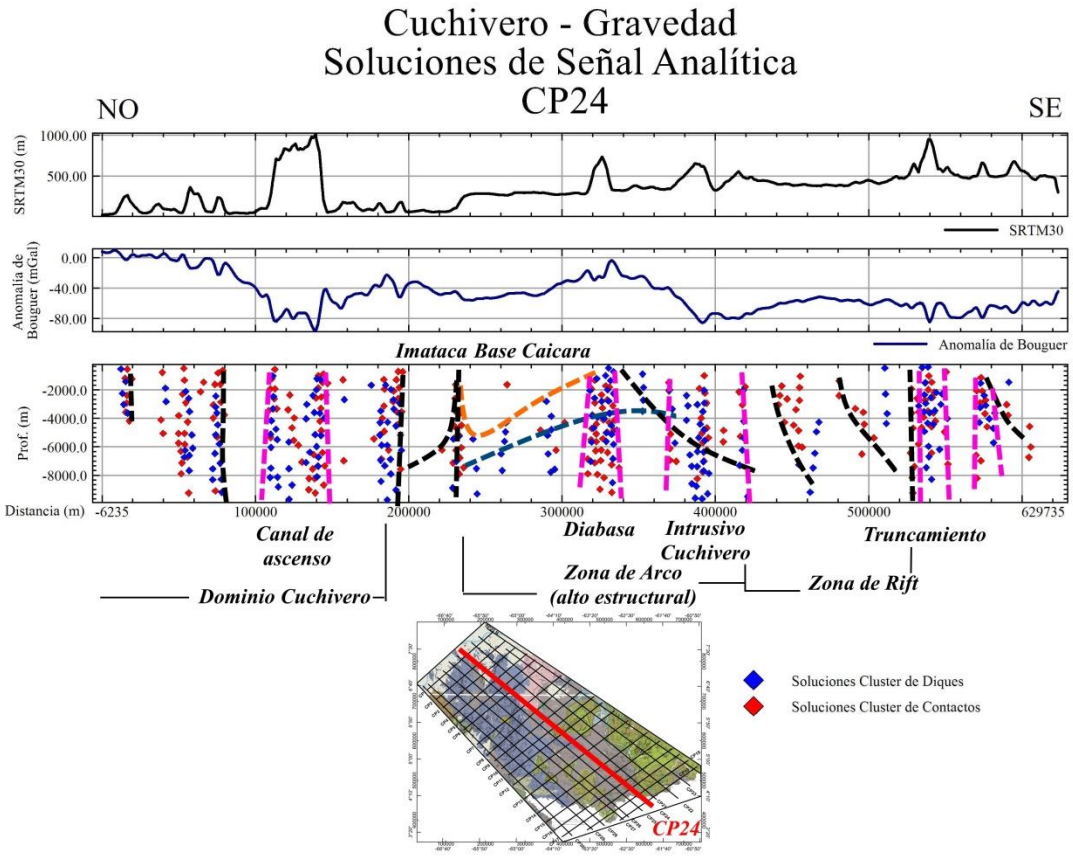


Figura 200. Soluciones de señal analítica en CP24 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural.

Entre 230.000 m y 410.000 m se presenta en profundidad el arco o alto estructural, modificado por un conjunto de intrusivos no-sincrónicos, de composición presumiblemente CRV, cubierto por una capa de Supamo y suprayacente a él una engrosada capa de Caicara. Esta última parace engrosada debido al tectonismo presente en la frontera con Imataca, donde la misma parece cabalgar a Caicara. Hacia el sur, el inicio del rift se mezcla con el final del alto estructural, sin embargo, se podría mencionar que el rift comienza a los 400.000 m del perfil. A partir de allí, en las soluciones condensadas a partir del "*cluster*" solo es posible ver los cambios estructurales, pero al evaluar las soluciones completas, cambios de composición también ocurren. Al inicio del rift se encuentra un intrusivo de

Cuchivero de gran dimensión, luego un conjunto de variaciones internas propias de los CRV hasta alcanzar la falla de truncamiento que corta la propagación del rift (posiblemente de corrimiento). A su vez, este truncamiento se caracteriza por intrusiones silícicas de gran tamaño, y fallas normales posteriores al mismo también son observadas. Esto sugiere que el rift al momento de su formación probablemente se extendía hacia el sur (hacia Brasil), pero por eventos tectónicos posteriores, principalmente aquellos producidos durante la etapa de inversión y el cierre en el sur de las provincias (que genera la curvatura de Cuchivero), el rift es truncado e invertido parcialmente.

En los perfiles anteriores que pasan por el canal de ascenso, el mismo fue caracterizado por el metamorfismo de contacto que representaban la cantidad de soluciones observadas. Al ser los mismos de menor envergadura, era posible representarlo de esa manera. Para efectos de este perfil y los anteriores, ambas denominaciones representan la misma estructura.

La Figura 201 (CP25) muestra de mejor manera los sistemas estructurales internos a Cuchivero, que sugieren ser inversos. El canal de ascenso de granitos de Cuchivero sugiere ser de unos 100 km de longitud, con zonas de alteración en los bordes. En 220.000 m del perfil, el contacto entre Cuchivero y Caicara parece consistir en una falla de corrimiento, es el sector donde Caicara alcanza un espesor de unos 4 km. Por debajo, una delgada capa de posiblemente Supamo e inmediatamente se presenta el alto estructural de CRV. Por la disposición del perfil y la curvatura que tiene este arco, es representado dos veces, pasando por una pequeña sección del rift. No obstante, por arriba del arco en la sección sur, se sugiere que el sistema de rift tiene presencia. En 500.000 m del perfil el truncamiento aparece como una falla de corrimiento, con la prolongación también de las rocas intrusivas silícicas de gran tamaño.

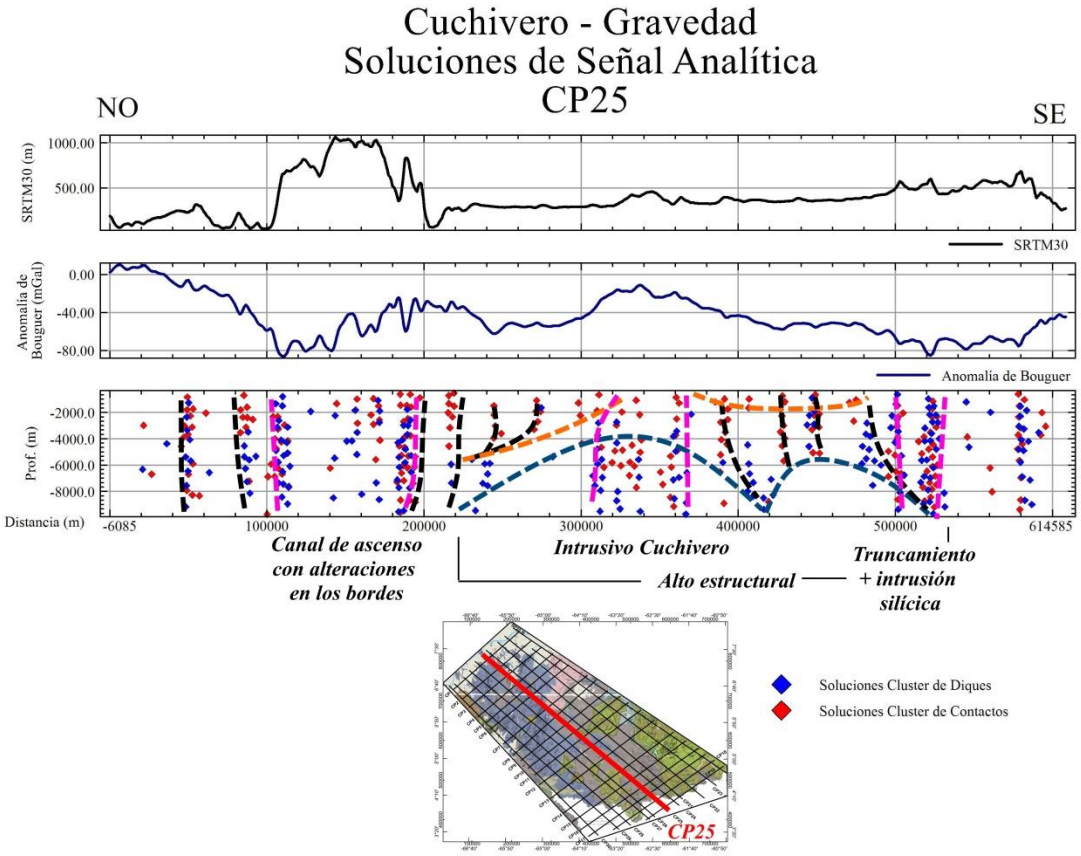


Figura 201. Soluciones de señal analítica en CP25 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural.

La siguiente Figura 202 (CP26) atraviesa el sistema medular de la provincia de Cuchivero, muestra la envergadura del sistema magmático que permitió la formación de los granitos de Cuchivero. Para este caso, la tendencia de la curva de anomalía de Bouguer es fundamental para comprender el choque de bloques a nivel cortical profundo, y de cierto modo, inferir cómo estuvo dispuesta la antigua subducción.

Inicialmente, se tiene al perfil dividido en dos (2) sectores principales: a) desde el NO hasta los 300.000 m del perfil, compuesto en su mayoría por granitos de Cuchivero en corteza superior, y b) a partir de 300.000 m hacia el SE con una configuración de alto estructural de CRV cubierto por una capa de posiblemente Supamo, alterado por intrusiones de diferentes naturalezas y edades, limitado al sur por el sistema de truncamiento que sobre-corre al arco.

La anomalía de Bouguer en la sección "a" presenta cuatro (4) inflexiones, que son clave para entender el sistema de sutura. La primera, ubicada a unos 100.000 m del perfil, marca corticalmente el inicio de la subducción del bloque que se encontraba al noroeste del sistema (relativo), donde inicia el descenso del valor de la anomalía de 0 mGal a -80 mGal (inicio de la sutura); entre 180.000 m y 240.000 m del perfil, la anomalía sube 50 mGal absolutos, marcando el eje principal de la cámara magmática generada por la subducción (ocurriendo 2 inflexiones, una al principio y otra al final de similares magnitudes); posteriormente ocurre una inflexión alrededor de los 300.000 m del perfil, donde la anomalía pasa de -80 mgal a -20 mGal aproximadamente en una longitud de 80 km, donde comienza a nivel cortical inferior el bloque que se encontraba obduciendo en el SE (relativo), justo antes de comenzar el arco o alto estructural de CRV, marcado a su vez por un alto relativo de gravedad.

Al iniciar la sutura, comienzan a formarse fallas de corrimiento a ambos extremos, pero básicamente con el mismo patrón de fallamiento (fallas inversas buzantes al oeste). Parte de Cuchivero fue colocado sobre Supamo, por motivos normales de enfriamiento o por motivos tectónicos. A medida que la subducción fue migrando rápidamente, Cuchivero fue migrando su canal principal de ascenso posiblemente hacia el oeste. No obstante, el canal o la cámara magmática de mayor tamaño es la que se representa en el perfil.

Como estas rocas se enfriaron en el interior de la corteza, la parte del magma que logró ascender se solidificó en rocas volcánicas de Caicara, y es por ello que, en este sector, Caicara aflora interna a los granitos de Cuchivero, porque existían depresiones laterales por donde se vertía la roca extrusiva.

De similar manera tuvo que ocurrir en el rift observado, pero su diferencia cristalina radica en que, por ser un rift, la mayor parte del magma logró extrusionar, por ende, la provincia presenta rocas volcánicas (Caicara) al este y rocas intrusivas graníticas (Cuchivero) hacia el oeste (en general). El basamento en el rift tuvo que ser en parte Supamo en algunos sectores minoritarios y CRV en la mayor parte de este. Hacia el oeste, el basamento tuvo que estar constituido por otro tipo de rocas o posiblemente CRV con menor grosor. La sección extrusiva del oeste que cubría a los granitos de Cuchivero tuvieron que ser erosionados durante los eventos tectónicos posteriores que marcaron las inversiones. Hacia el este,

como las inversiones fueron de menor intensidad, la costra de Caicara perduró. Proceso que tuve que ser en gran medida ayudado por el posterior depósito de Roraima sobre ella.

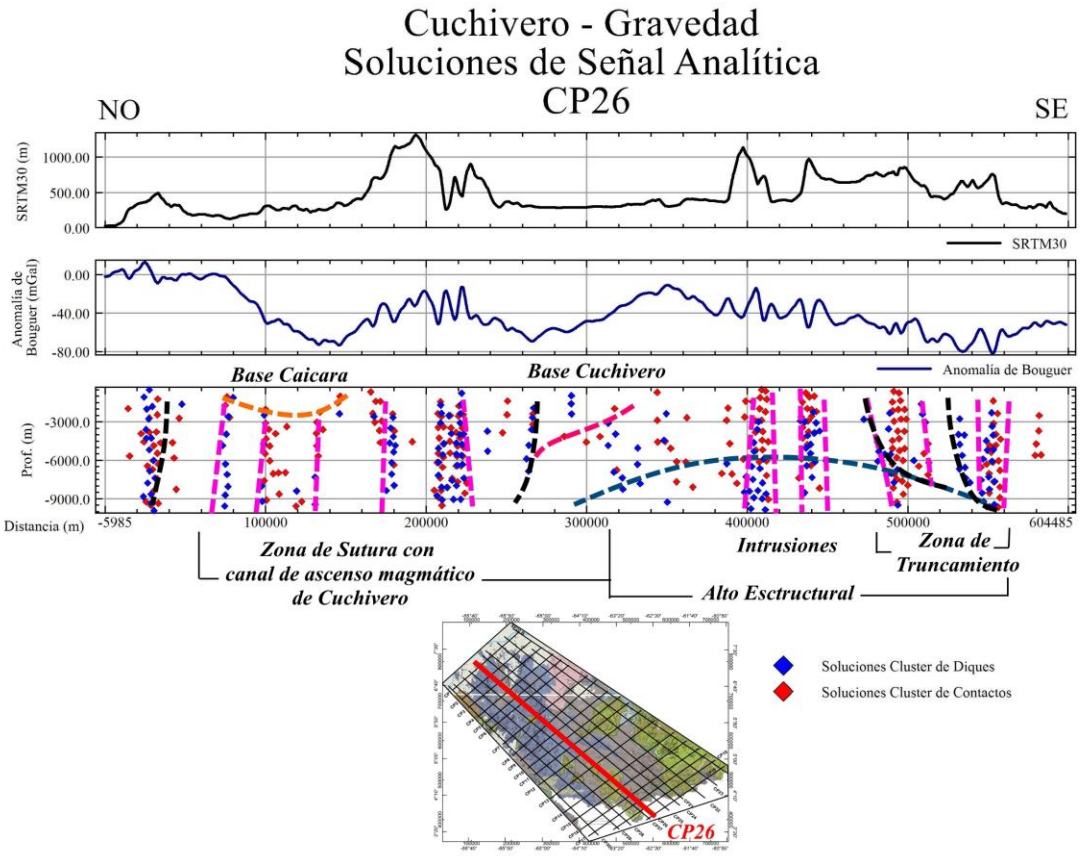


Figura 202. Soluciones de señal analítica en CP26 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural; guiones fucsia = base de granitos de Cuchivero.

El perfil CP27 (Figura 203) muestra características similares al anterior, divido en las mismas 2 secciones principales. La principal diferencia radica en que hacia el NO un nuevo canal de ascenso magmático es encontrado, cuyas dimensiones son de menor envergadura respecto al principal. Para esta sección, el canal principal aparece mejor definido, y es de particular importancia ya que, en su tope, afloran las carbonatitas de Cerro Impacto. Es probable que este canal de ascenso fuese reactivado durante la disrupción de Pangea, permitiendo nuevo material magmático ascender a través de él.

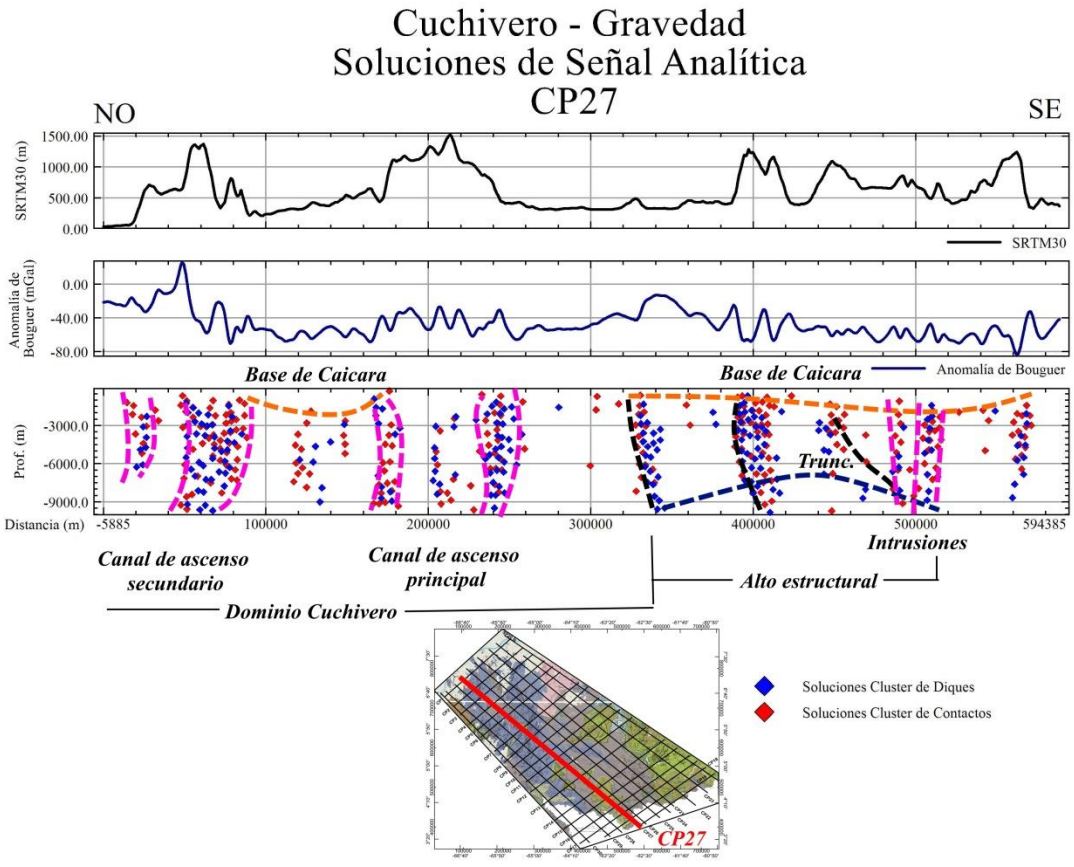


Figura 203. Soluciones de señal analítica en CP27 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones azul oscuro = alto estructural.

CP28 (Figura 204) no muestra el alto estructural que se venía observando en perfiles anteriores, esto sugiere que la orientación que el mismo presenta es acorde con lo interpretado en los mapas de realce tales como derivadas e inclinación (“tilt”). El perfil se encuentra casi en su totalidad ubicado en provincia Cuchivero, y muestra algunas de las variaciones composicionales ya descritas. El canal de ascenso continúa ubicado aproximadamente en la misma posición que en los perfiles anteriores, lo que infiere que el mismo se encuentra orientado SO-NE, al igual que la orientación de las fallas normales que se representan en esta latitud que rompen el patrón estructural del norte. En este caso, la zona de sutura es representada solo con algunos sistemas estructurales y un intrusivo que atraviesa la secuencia. A partir de los 400.000 m, un sistema estructural de naturaleza inversa marca el límite de esta zona de sutura hacia el sur. La dirección de los esfuerzos, y la orientación de las estructuras resultantes es semi-paralela a la orientación del perfil, y es

por ello que es mejor representada estructuralmente en los perfiles que corren perpendicularmente. Luego de este límite, la estructura cortical parece tectónicamente poco alterada, se logra observar discretamente el tope de lo que podrían ser los CRV, la base de las volcánicas de Caicara hasta una profundidad máxima de unos 2 km, y en medio de ambas existiría una litología como Supamo. A través de los sistemas estructurales posteriores a la zona de truncamiento o límite de los sistemas del centro y norte de Cuchivero, donde la provincia cambia de disposición, sistemas intrusivos como aquellos de rocas silícicas son representados con soluciones abundantes, sugiriendo que esto compuso un sistema continuo a lo largo del margen de colisión del sur.

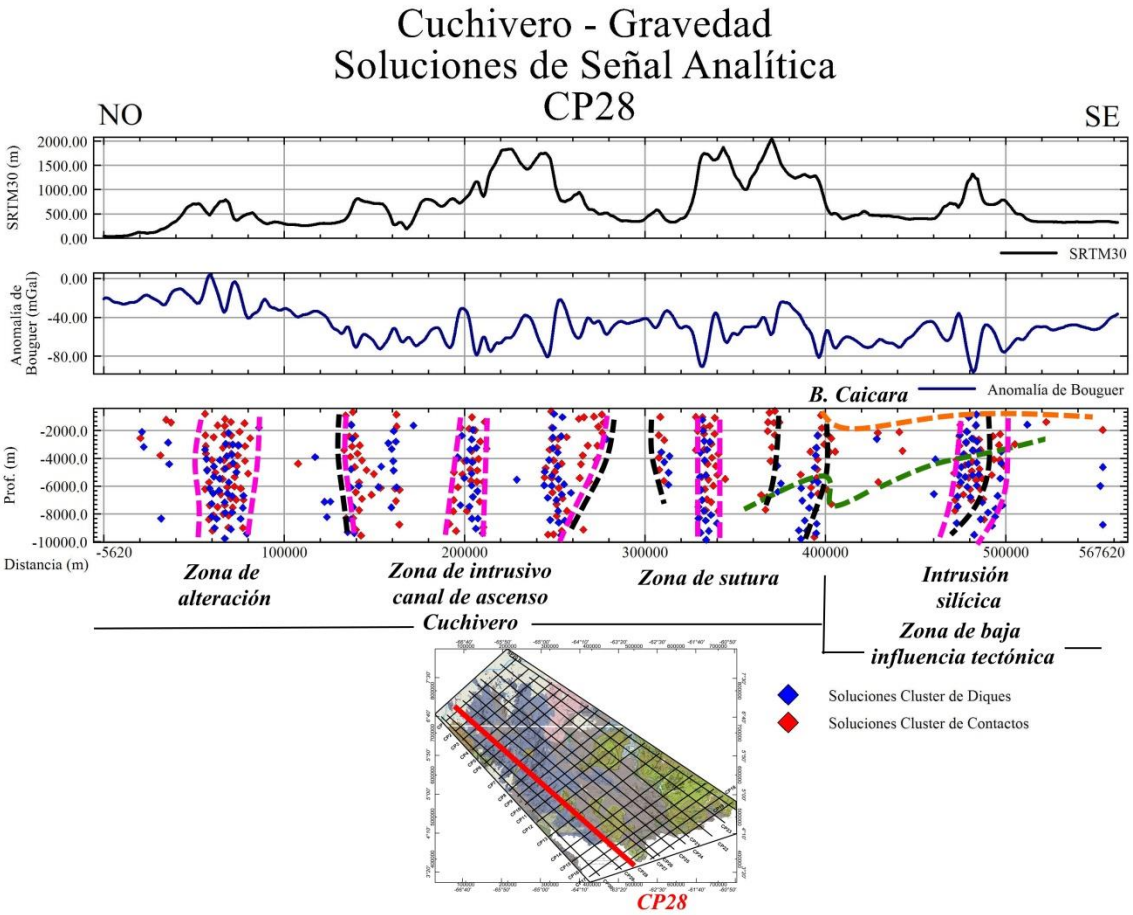


Figura 204. Soluciones de señal analítica en CP28 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones verdes = tope inferido de CRV.

El perfil siguiente, CP29 (Figura 205), revela un sistema de emplazamiento no visto previamente que revela la disposición de las provincias en esta región particular. El perfil inicia al NO con el límite de los granitos de Parguaza, con una morfología similar a un batolito. El mismo se encuentra en contacto con rocas de Cuchivero, siendo hacia el tope principalmente volcánicas de Caicara, afectadas corticalmente por sistemas intrusivos que pueden corresponder con diferenciaciones magmáticas dentro del mismo Cuchivero. La sección entre 150.000 m y 380.000 m es de las más interesantes representadas, ya que la simpleza de las soluciones demarca estructuras particulares. Se observa en ella un cambio composicional que buza hacia el NO, como si una sección de Cuchivero estuviese cabalgando a una composición cortical diferente, que a su vez también presenta intrusivos. El régimen tectónico es continuado hacia el SE, donde se observa al terreno de San Carlos exhumado. Es probable que la composición de la capa por debajo de los guiones azul claro obedezca a una amalgama de rocas similares a este terreno. Es posible, además, que esto ya pertenezca a la corteza que se aproximaba por el oeste, la cual subductó, pero por procesos de inversión y de bloques remanentes durante la etapa de subducción, pedazos de esta corteza quedaron emplazados sobre los CRV. Las intrusiones que se observan hacia el SE es probable que correspondan con las rocas silícicas ya mencionadas.

Todo ello es acorde con lo interpretado, Pastora y Cuchivero formaron un bloque conjunto, que sobre-corrió a la corteza aproximada desde el oeste (relativo al actual), y la cristalización de estas rocas tuvo que corresponder con un ambiente de margen de subducción, suturado posteriormente al migrar este margen hacia el SO.

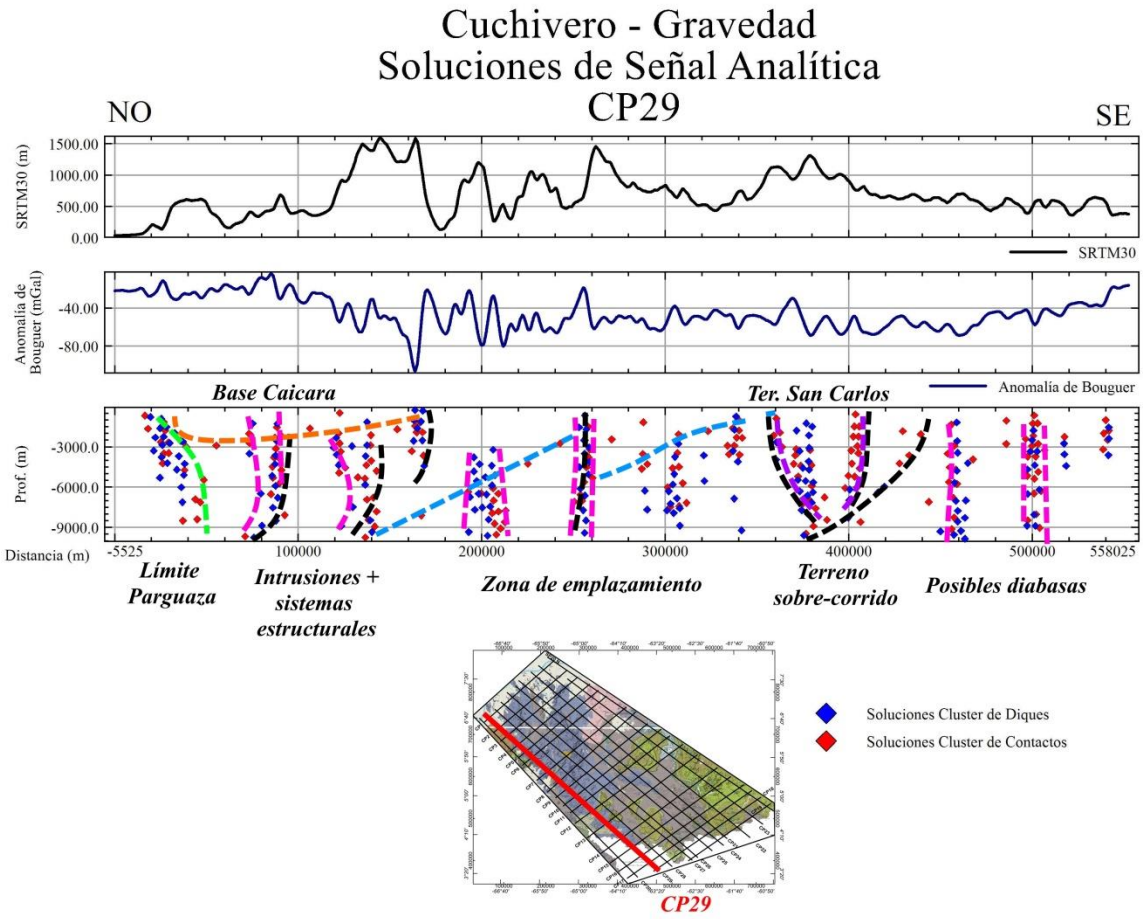


Figura 205. Soluciones de señal analítica en CP29 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones verdes = límite de Parguaza; guiones azul claro = sistema de emplazamiento.

La Figura 206 (CP30) es el último de los perfiles trazados para la provincia de Cuchivero. Los primeros 150.000 m del perfil los ocupa el granito de Parguaza, y la caída de la tendencia del valor de anomalía de Bouguer a partir del límite de este batolito indica la diferencia cortical entre las rocas cajas que conformaban los diferentes bloques amalgamados. La sección media del perfil y SE corresponde con una vista frontal del sistema de cabalgamiento que genera la superposición de Cuchivero sobre terrenos pertenecientes a otro micro-continente. Es de acotar que en esta ubicación no se observa con facilidad el límite sub-horizontal que podría representar las intrusiones de Cuchivero, es decir, no se aprecia qué existe debajo de los granitos. Los resultados arrojados por los perfiles sugieren que por debajo de estos en las secciones al NE es Supamo, en las

secciones centrales son los CRV, y hacia el SO son terrenos de otro micro-continente probablemente amalgamados durante las subducciones.

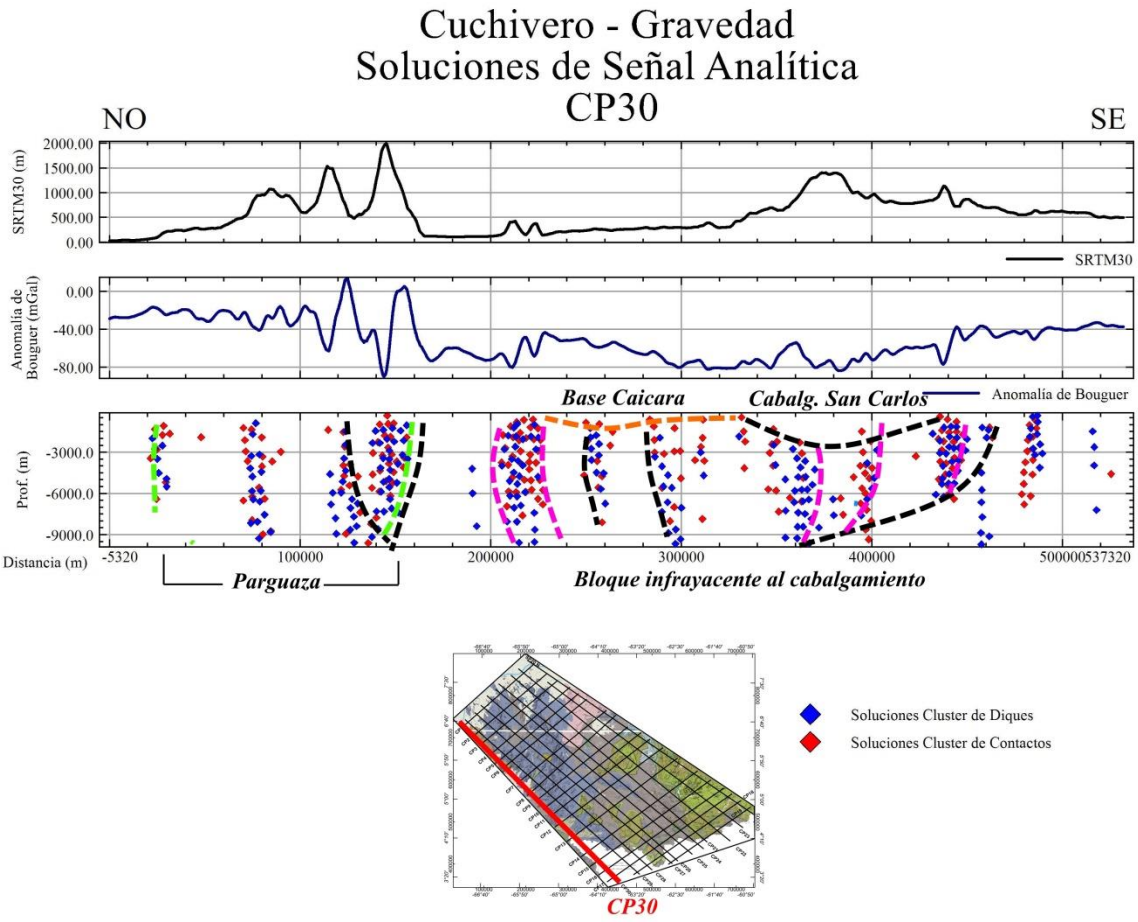


Figura 206. Soluciones de señal analítica en CP30 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones morado = cambios de composición; guiones naranja = bases de capas; guiones verdes = límite de Parguaza.

SOLUCIONES DE PERFIL - AMAZONAS

Un total de 28 perfiles fueron calculados a partir de la técnica de señal analítica y deconvolución de Werner para la región que comprende al Edo. Amazonas, cuya ubicación de cada uno de ellos se observa en la Figura 207.

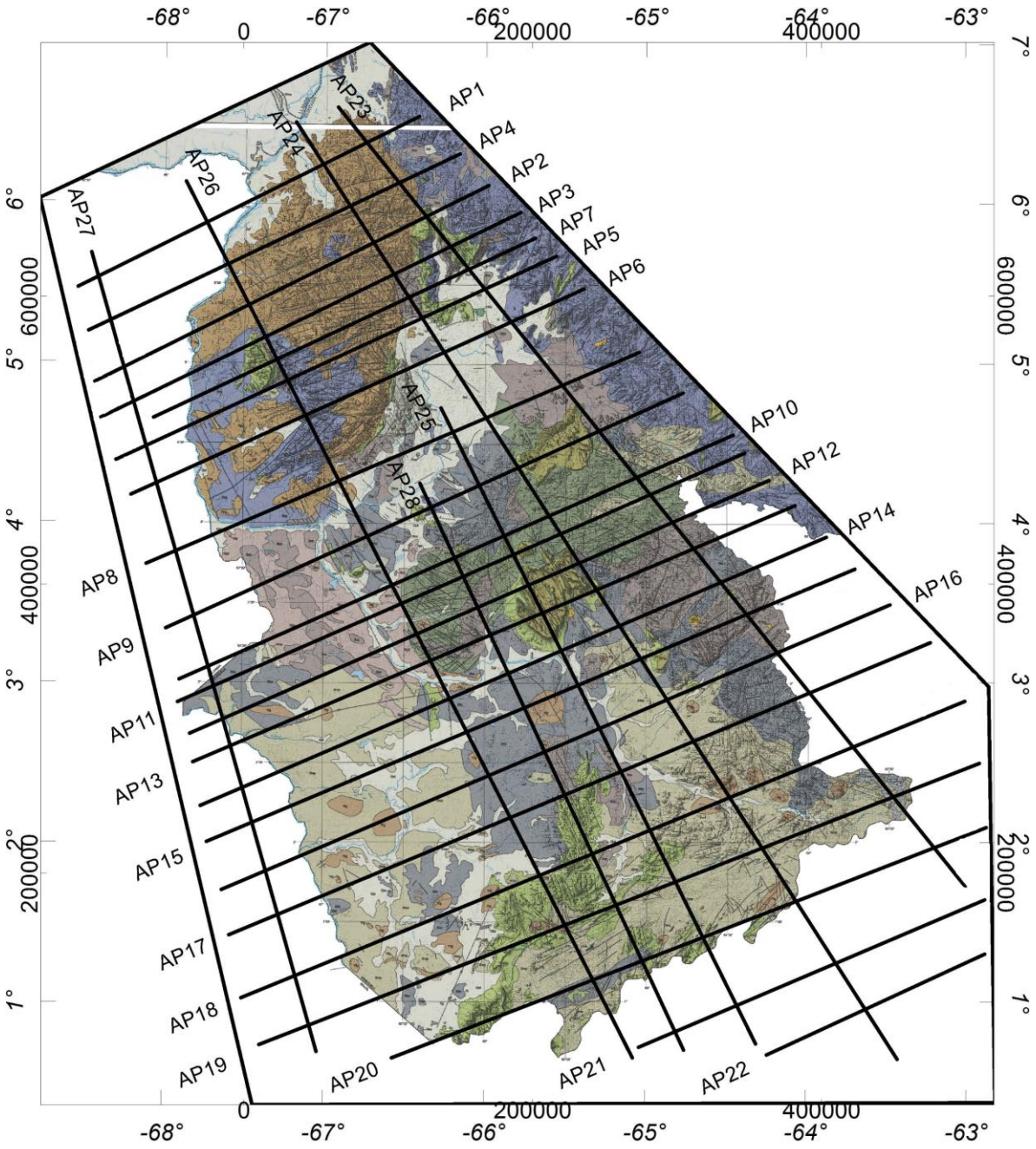


Figura 207. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la región que comprende al Edo. Amazonas, sobre el mapa geológico de Hackley *et al*. (2005).

Para esta provincia serán considerados un total de 28 perfiles a los cuales les fue calculada la deconvolución de Werner y aplicada la técnica de Señal Analítica, los cuales se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de todo el Estado Amazonas, 22 con disposición SO-NE y 6 perfiles con orientación NO-SE, ya que las principales estructuras corticales y sistemas de fallas observadas se encuentran en tendencia general NO-SE. Todos los perfiles

de este capítulo se encuentran etiquetados por "Amazonas Perfil" (AP) seguido del número de perfil.

El perfil AP1 (Figura 208) continua con las tendencias estructurales de Cuchivero principalmente. No obstante, no parece, al menos desde las soluciones calculadas, que las estructuras de los CRV continúen hacia estas longitudes, lo que marcaría el cambio estructural a nivel cortical de los grábenes y horst observados por debajo de Cuchivero hacia el este, hacia un sistema de retro-corrimiento aparente producto de la colisión syn/post subducción, ya que, a rasgos generales, la mayoría de las fallas supra-corticales buzan hacia el este. En 240.000 m del perfil aproximadamente se localiza el contacto entre Cuchivero y Parguaza, que parece ser de transición entre provincias ígneas. Sin embargo, un sistema de fallas infrayacente delimitan el quiebre de Cuchivero a niveles corticales intermedios. Esto se infiere debido a que, si bien el dominio de Parguaza se encuentra entre los 140.000 m y 240.000 m del perfil, esto solo refiere a los intrusivos que, como anteriormente se ha demostrado, se encuentran mezclados a nivel cortical intermedio con Cuchivero. Es por ello que se observan zonas de mayor contraste mediante cúmulos de soluciones relativamente verticales. Consisten quizás en zonas de alteración térmica, producto del ascenso de Parguaza. Es probable que Parguaza como máximo constituya los primeros 2 km de corteza superior, ya que algunas interfases pueden interpretarse por debajo de ella, lo que ubicaría al contacto horizontal entre Cuchivero y Parguaza en esta zona particular (que no es la de mayor espesor cortical de Parguaza). Entre 165.000 m y 185.000 m del perfil aproximadamente, la información geológica sugiere una especie de graben. Según las soluciones obtenidas, es aparentemente un hemi-graben, con sedimentos superficiales de espesor desconocido, que probablemente contiene también rocas de Parguaza como basamento, pero que por debajo de ellas la composición parece ser predominantemente Cuchivero.

La frontera colombo-venezolana se encuentra en los 130.000 m del perfil aproximadamente, donde a su vez inicia la profundización de una interfase de contraste hacia el oeste. Lo más probable es que ella coincida con contrastes sedimento-basamento, destacando aquella que alcanza incluso 8 km de profundidad hacia el oeste del perfil, la cual podría atribuirse a diferenciación ígnea vertical.

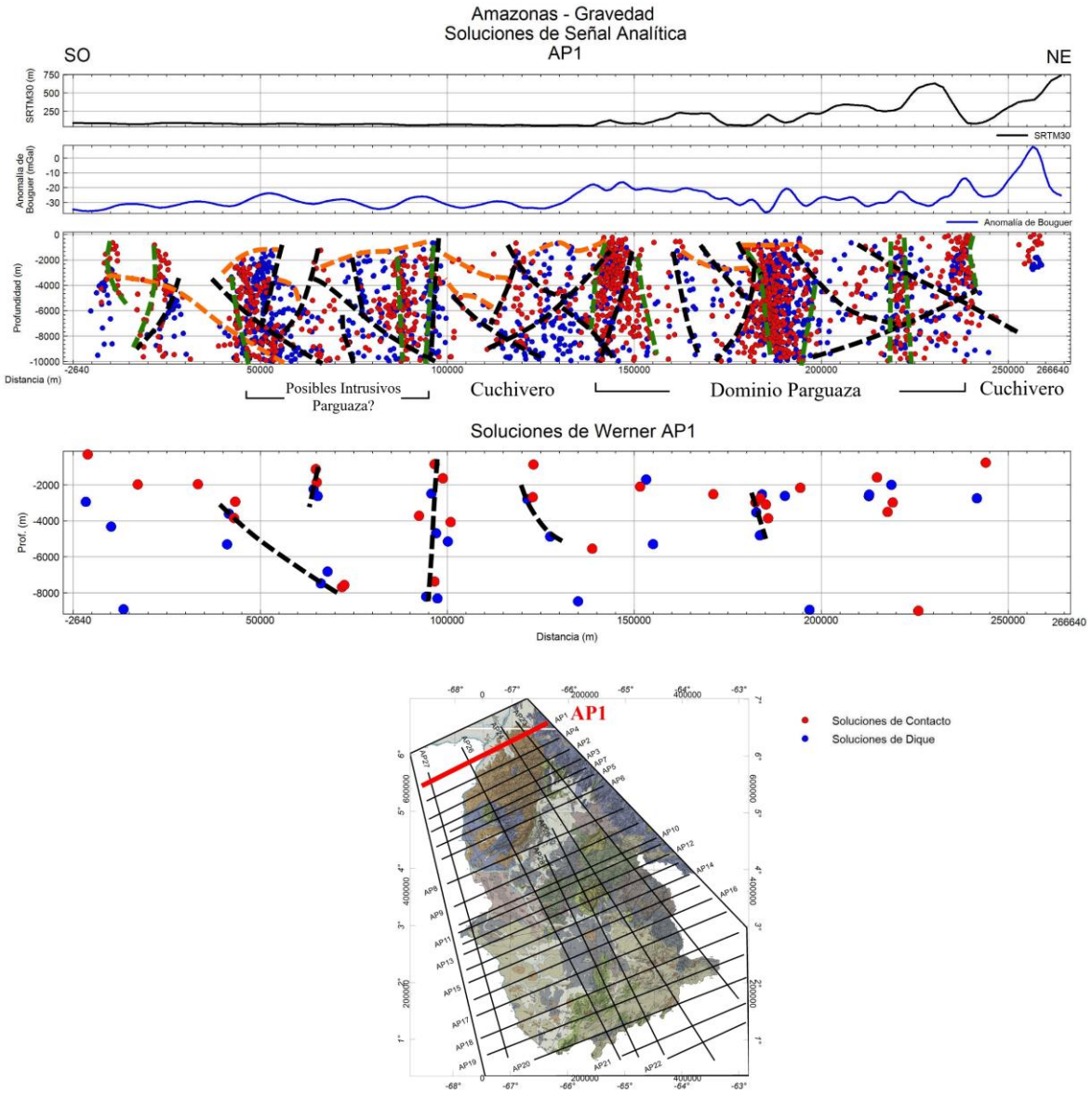


Figura 208. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP1 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

Patrones de soluciones similares a las observadas en el territorio venezolano para el contraste Parguaza-Cuchivero se encuentran también en Colombia, pero a una mayor profundidad. Esto concuerda con la interpretación realizada a partir del mapa regional magnético, que extiende la influencia de Cuchivero y Parguaza hacia territorio colombiano con una forma similar a una aureola.

En términos tectónicos, la zona podría corresponder al relicto de la fase deformada y quebrada durante la etapa de colisión con el cinturón de alto grado de Cuchivero; cinturón que quedó atrapado entre estos bloques consolidados de las provincias del escudo y Río Negro. Al Cuchivero quebrarse, parte del mismo cabalgó sobre sí mismo, etapa durante la cual Parguaza intruye, ya que las zonas de contraste composicional no parecen estar muy desplazadas por los sistemas de falla.

El siguiente perfil AP2 (Figura 209) consiste en la continuación del sistema tanto composicional como tectónico observado en el perfil anterior. En esta ocasión se interpreta un límite de influencia del conjunto cortical Cuchivero-Parguaza más adentrado en Colombia. La interfase somera interpretada correspondería con la base de Parguaza, que para estas localidades llega al alcanzar los 3 km de profundidad entre 50.000 m y 250.000 m del perfil. Entre 0 m y 50.000 m, las interfases interpretadas son desconocidas, pero probablemente consisten en el contraste sedimento-basamento o la base del mismo Parguaza y alguna diferenciación ígnea más profunda. En 265.000 m del perfil el contraste entre Cuchivero y Parguaza se hace mucho más evidente con mayor cantidad de soluciones. No obstante, el sistema de quiebre de Cuchivero sigue prevaleciendo por debajo de este contacto.

El dominio de Parguaza en este perfil podría ser dividido en 2 sectores: a) desde 150.000 m hacia el oeste donde las anomalías de Bouguer permanecen en torno a los -25 mGal y su espesor e influencia es menor y, b) desde la misma locación hacia el este donde las anomalías son más variantes con un mínimo relativo de -75 mGal y donde los espesores aumentan.

En las latitudes donde este perfil se ubica, hacia el oeste del perfil por debajo de Parguaza, la litología cortical debería corresponder en parte por Cuchivero, en otra por Río Negro y otra por gneises de alto grado como Mitú, San Carlos, y equivalentes.

Tanto señal analítica como la Werner, más evidente en este último, mostraron un nivel de diferenciación magmática que oscila entre los 4 km y 6 km (línea de guiones morados). Esta interfase no corresponde precisamente con la base de Parguaza, sino con el tope de Cuchivero aparentemente. Esto hace evidente el contacto de corrimiento de la sección Cuchivero-Parguaza contra el cinturón de gneises de alto grado y Rio Negro, donde

Cuchivero es el bloque que cabalga. A estas instancias Cuchivero ya había cesado de subducir, el margen había migrado. Este sistema es aplicable solo a la sección norte del Edo. Amazonas, objeto de esta evaluación; hacia el centro y sur puede cambiar por completo. Se aprecia de igual modo, que cuando Parguaza se forma, ya el sistema entre Cuchivero y el cinturón había colisionado, ya que las zonas de alteración cortan la mayoría de los sistemas de falla e interfases.

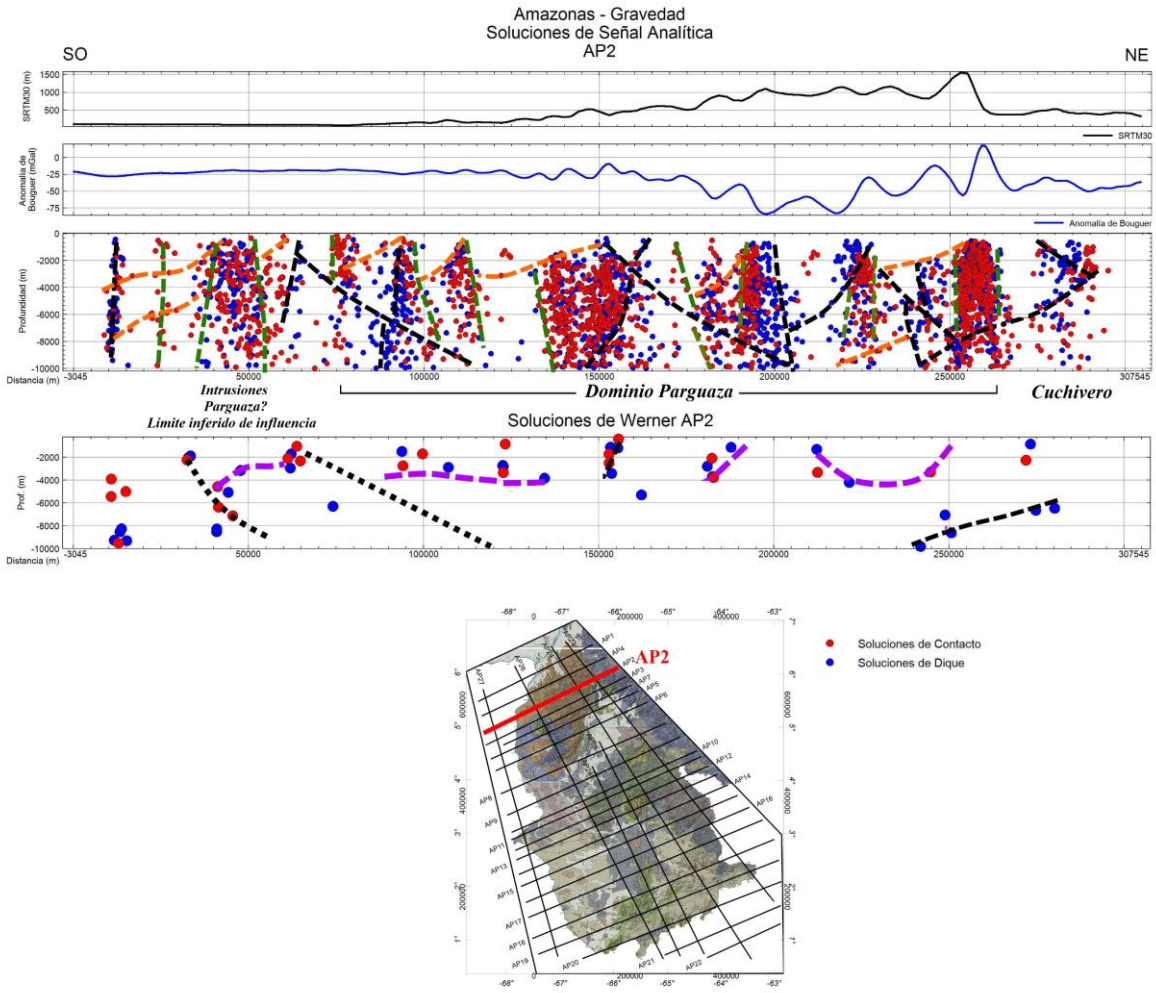


Figura 209. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP2 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

El siguiente perfil (AP4) se encuentra ubicado entre los dos perfiles anteriores (Figura 210). El mismo revela la progresión de las estructuras presentadas en el AP1 hacia lo observado en el AP2, con un sistema de corrimiento hacia la frontera occidental de Parguaza, con

algunas posibles intrusiones de esta misma en territorio colombiano. El contacto con Cuchivero continúa siendo transicional sub-vertical, limitado intra-corticalmente por una falla de corrimiento producto del quiebre de Cuchivero. No obstante, las zonas de alteración continúan cortando todas las estructuras, lo que indica que la etapa de intrusión de Parguaza fue sinc/post tectónica a la colisión.

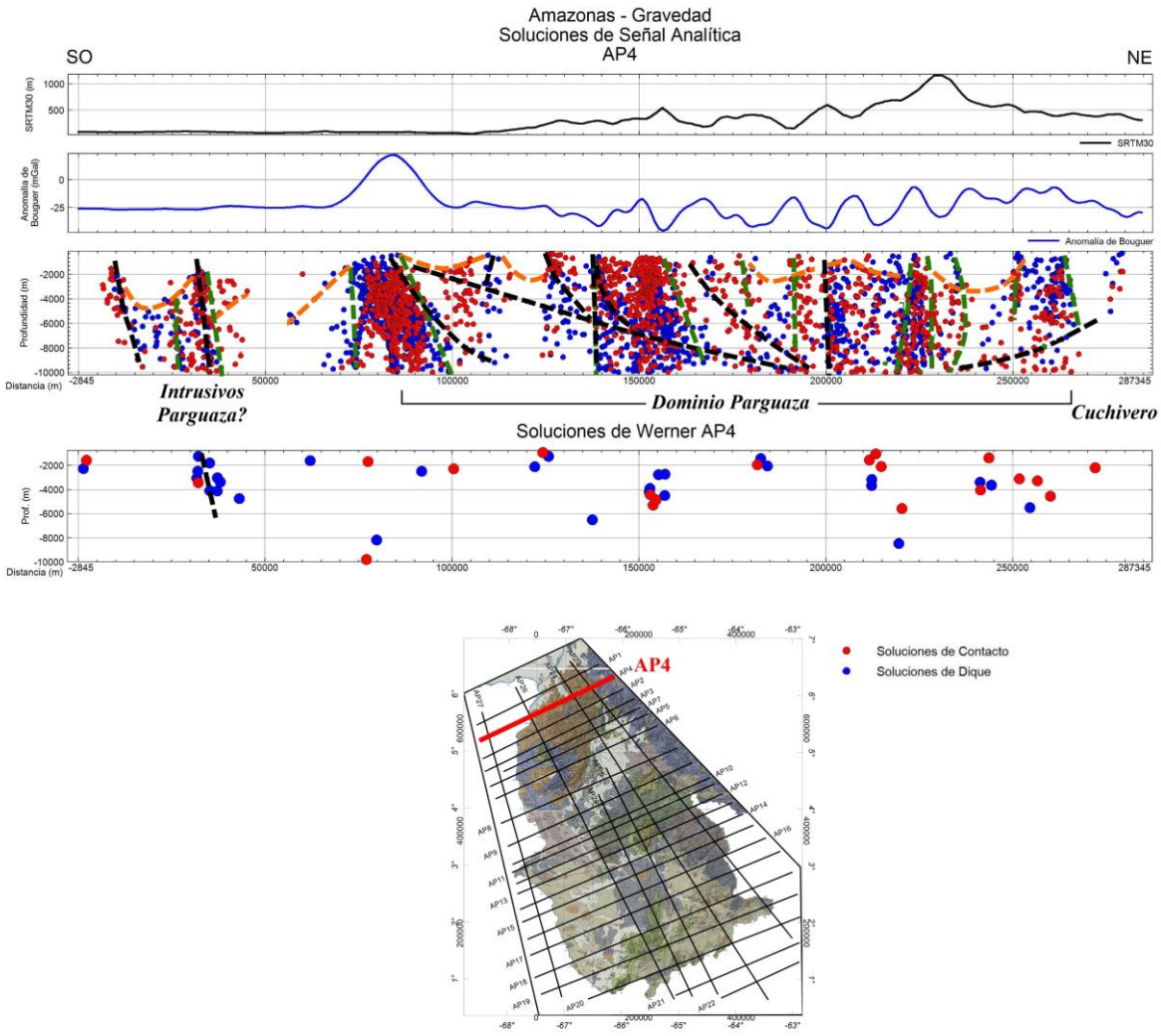


Figura 210. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP4 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales

En el perfil AP3, en la sección de Cuchivero entre 40.000 m y 180.000 m del perfil aproximadamente, las soluciones de Werner resultan en lo que parece ser la base de esta provincia, en torno a 6 km a 8 km de profundidad. Hacia el oeste del perfil, el sistema

sugiere seguir siendo de corrimiento. A partir de los 200.000 m del perfil hacia mayores, la composición cortical superior consiste en una alternancia de zonas de alteración producto de volcanismo asociado a Caicara, otros debido a Parguaza, en una roca caja que debería ser Cuchivero. La base de Cuchivero hacia el este (a partir de los 200.000 m) no se observa, y por tanto, esta provincia se engrosa hacia el este, y se levanta hacia el oeste donde su espesor disminuye. Es de acotar que, la interfase de guiones naranja en dominio Parguaza representa la base de estos intrusivos dispuestos, y donde el dominio es Caicara, esta línea representa la base de estas rocas volcánicas. En este perfil, las volcánicas alcanzan profundidades de hasta 2 km.

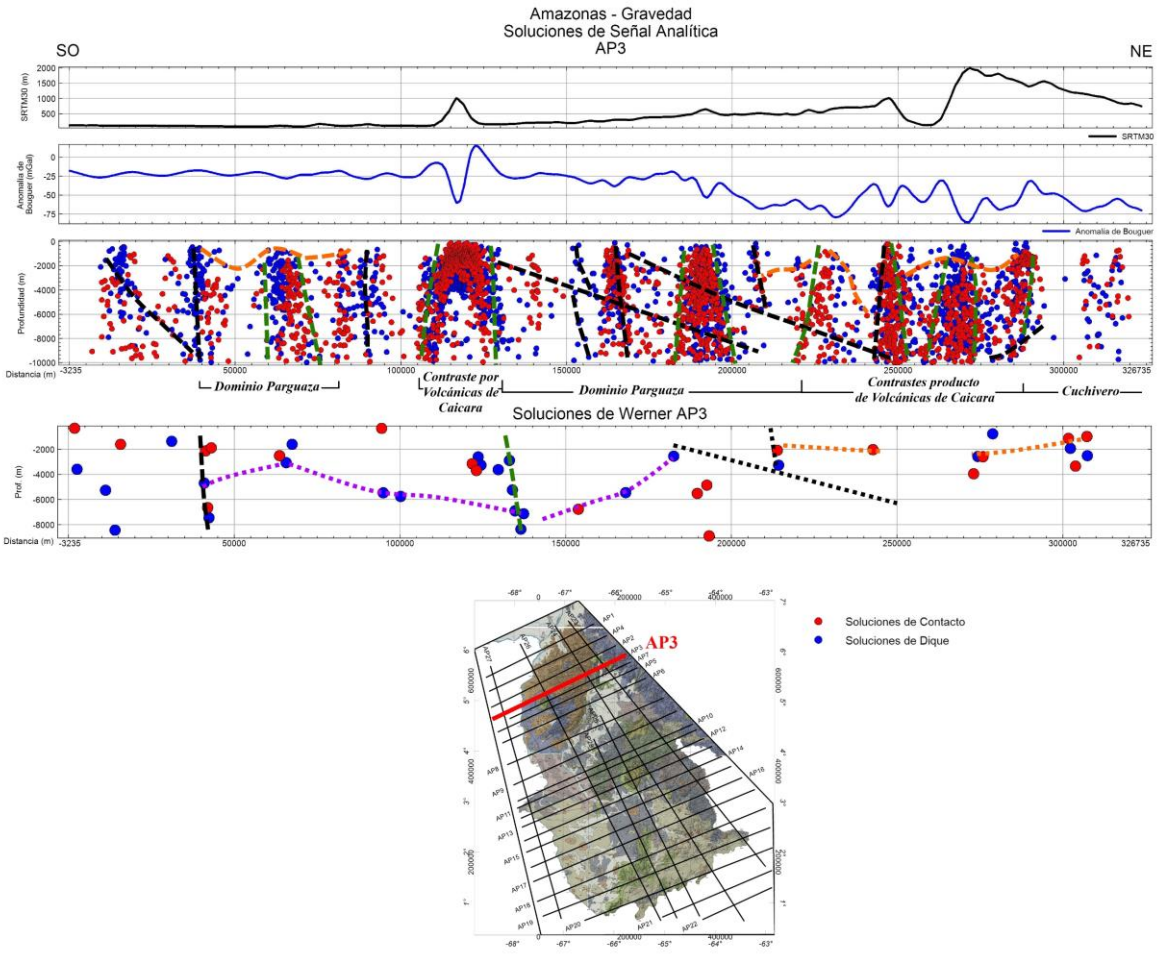


Figura 211. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP3 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales.

Las fallas que aparecen más verticales tienden a ser aquellas con orientación NO-SE, que mayoritariamente sugieren ser de naturaleza transcurrente, algunas de ellas con alguna

componente de fallamiento normal. Las más horizontales tienden a ser proyecciones de sistemas de fallas que corren SO-NE, exceptuando aquellas que obedecen a los sistemas de corrimiento principal, que suelen ser las que alcanzan mayor profundidad. No obstante, al relacionar el perfil con el mapa geológico, debió existir una etapa de relativa distención y una etapa previa de compresión.

En el perfil AP5 el sistema estructural cambia respecto al anterior, si bien las fallas principales que delimitan los corrimientos, los contactos internos en la provincia de Cuchivero se dan por conjuntos aparentes de fallas normales y transcurrentes, o una combinación de ambas. Tanto señal analítica como Werner muestran la base de Cuchivero entre 4 km y 6 km de profundidad. En el dominio Caicara, estas volcánicas representan solamente los primeros 2 km de corteza superficial como máximo, y ya hacia esta latitud, el espesor de Parguaza disminuye considerablemente de entre 1 km a 1,5 km.

Es de acotar que no existe una frontera como tal que delimite a Cuchivero a partir de lo observado, no obstante, hacia el este del perfil se continúa observando esa fractura que la misma provincia ha presentado en los perfiles anteriores. La mayoría de los contactos entre las diferentes litologías ígneas siguen apareciendo sub-horizontales, pero existen canales de alteración térmica de contactos sub-verticales donde se podría presumir antiguos sistemas de ascenso de material magmático. Los de menor envergadura podrían corresponder con aquellos generados por Caicara en el este, y los de mayor envergadura hacia el oeste ocasionados por Parguaza. Ya que los de Caicara representan un cambio más sutil de composición, probablemente debido a la poca diferencia en edad entre Cuchivero y Caicara. Sin embargo, dentro del dominio Caicara en la sección, existe una zona de alta alteración aproximadamente en los 250.000 m, cuya naturaleza es desconocida.

La mayor incertidumbre la constituye qué compone la corteza por debajo de Cuchivero. Para ello serán planteadas dos hipótesis a ser evaluadas durante los siguientes perfiles: a) consiste en la continuación profundizada de los sistemas de CRV, pero sin las variaciones estructurales observadas hacia el este del Escudo; b) consiste en la prolongación de los cinturones antiguos de alto grado como Kanuku (granulíticos) o Uraricoera. Es decir, sobre qué tipo de corteza cristalizaron Cuchivero y Caicara hacia el Estado Amazonas. En el Estado Bolívar ya se observó que mayoritariamente fue sobre los CRV, en un sistema

similar a Supamo, sobre un conjunto de grabenes y cuencas tras-arco e intra-arco, y que probablemente estos CRV descansaban sobre estos cinturones de alto grado, que son los relativamente equivalentes a Imataca hacia el sur. Pero hacia esta sección, debido a la disposición tectónica que presentan las provincias y los resultados evaluados, podría corresponder con una cristalización directa sobre los cinturones. El mapa magnético regional revela una disposición cortical hacia el norte de Amazonas similar a la que se venía observando en el este del Escudo, por tanto, ambas hipótesis por el momento pueden ser argumentadas y sustentadas.

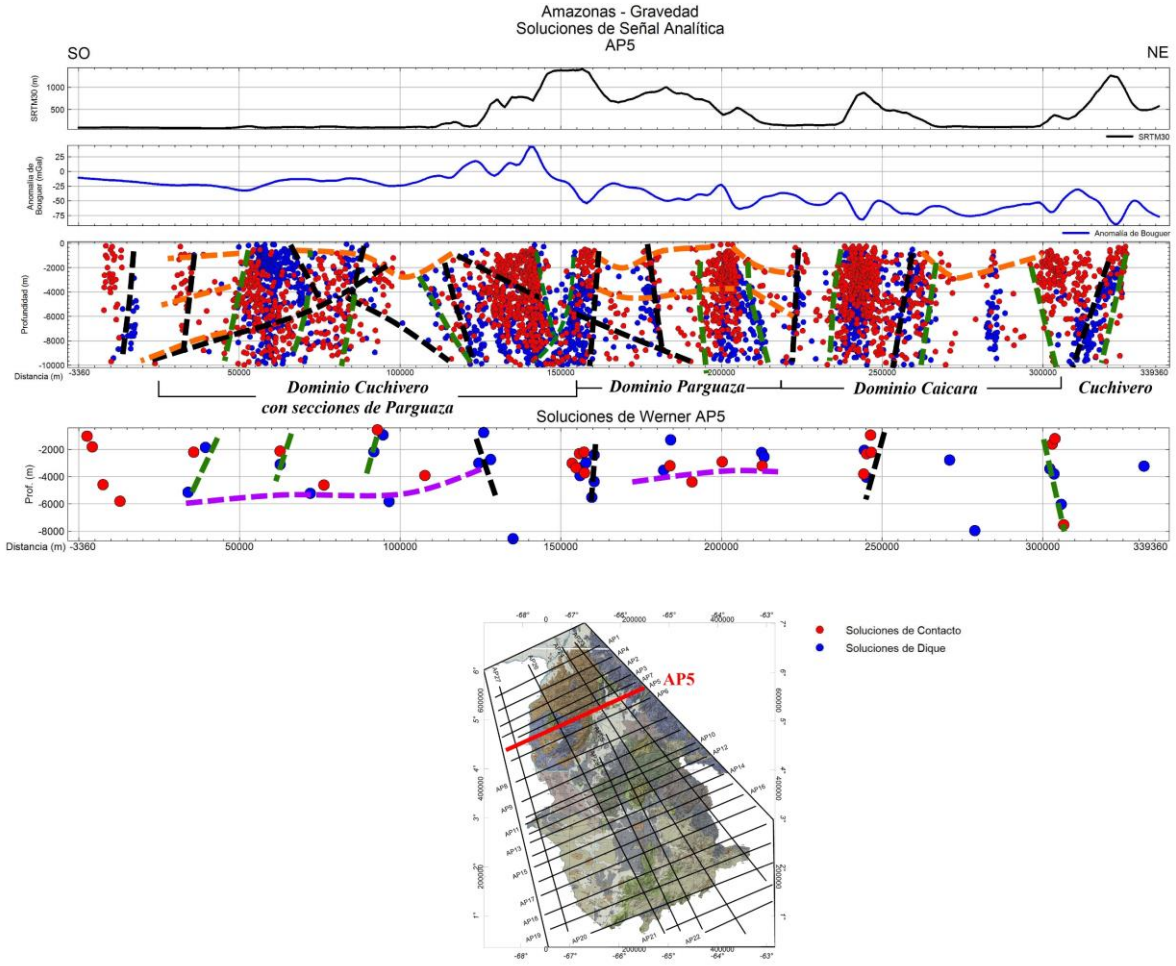


Figura 212. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP5 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales.

El siguiente perfil (AP7) se encuentra ubicado entre los perfiles AP5 y AP3. En él, las zonas de mayor variabilidad se encuentran entre aproximadamente los 80.000 m y 270.000 m del perfil, área encerrada por dos anomalías de Bouguer distintivas que marcan los cambios de dominio superficial composicional. En esta ocasión se colocan los nombres de las rocas aflorantes sobre el perfil interpretado porque a nivel cortical, las mismas representan en su mayoría un espesor minoritario alternando entre Parguaza, Caicara y Cuchivero. En el dominio Cuchivero, la provincia alcanza unos 6-7 km de profundidad hacia el oeste (mejor resaltado en perfil de Werner), lo que infiere que la provincia se entierra hacia esta dirección, con variaciones magmáticas corticales a modo de estratos deformados. Tectónicamente este dominio está dominado por fallas que parecen ser de rumbo. El sistema de corrimiento no aparece en este porque el perfil no alcanza hasta esa longitud.

Por debajo de Caicara en esta sección del perfil, parece existir un intrusivo de gran tamaño o una zona de gran envergadura alterada, cubierta por completo de volcánicas de Caicara.

A partir de los 120.000 m del perfil comienza la alternancia de rocas ígneas, las cuales parecen tener disposiciones verticalizadas por sistemas tectónicos, pero que originalmente estuvieron en posición más horizontal. Debido a la gran cantidad de soluciones arrojadas por las técnicas la base de la provincia Cuchivero se pierde entre la nube de puntos, y aunque no está dibujada, parece que hacia esta sección la base de esta podría ubicarse entre unos 4-5 km. La cantidad de fallas que presenta esta sección es mucho mayor a las acá dibujadas, y algunas de ellas consisten en proyecciones que tienden a confundir la naturaleza de la misma. Por la verticalidad de la mayoría de ellas, parece que el sistema (al igual que el perfil anterior) se encuentra dominado por fallas normales y de rumbo. Si se logra observar al menos 3 de componente inversa hacia el centro del perfil, pero parecen ellas ser las más antiguas.

Al relacionar los sistemas de fallas con los afloramientos de rocas, es probable que varias de estas fallas sean producto del mismo hecho intrusivo que quiebra la costra superior, y no por movimiento extensivo entre dos bloques.

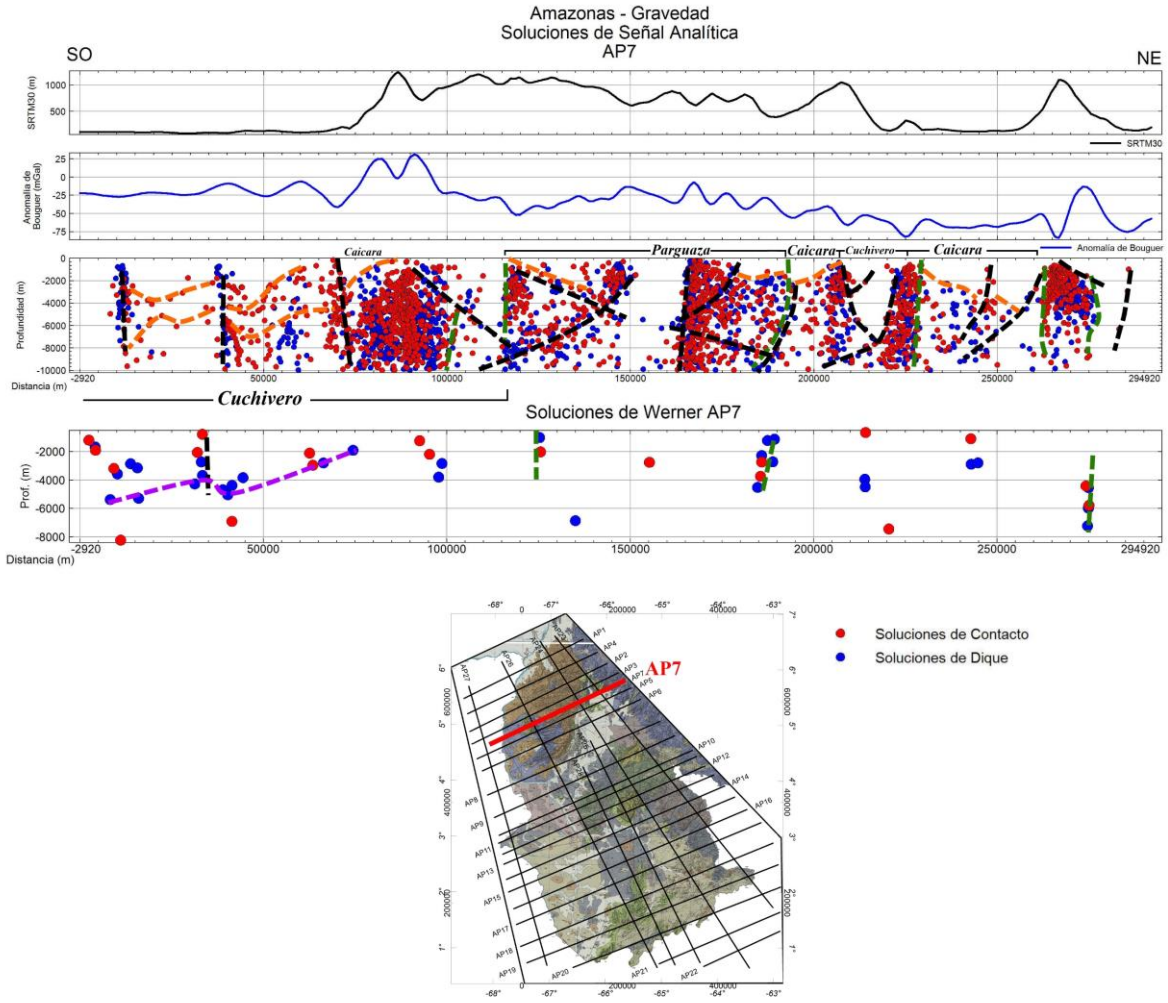


Figura 213. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP7 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales.

El perfil AP6 se encuentra ubicado al sur de los perfiles anteriores (Figura 214). En términos de anomalía de Bouguer, el perfil se divide en dos secciones básicamente: a) desde 190.000 m hacia el oeste donde la amplitud promedio es de -25 mGal, y b) desde la misma locación hacia el este donde la amplitud se encuentra en torno a los -60 mGal con variaciones. El cambio de anomalía surge en base a un cambio de composición cortical. Los patrones de soluciones indican una especie de estructura de levantamiento por intrusivos en la sección oriental del perfil, lo que ocasionó que una pequeña porción del basamento proterozoico fuese exhumada. Este sistema a su vez pudo contribuir a la formación de fallas normales cercanas buzantes hacia el SO, las cuales se encuentran cortadas por otra falla

normal de mayor inclinación de buzamiento contrario con componente rumbo-deslizante. Este sistema se encuentra cubierto en su mayoría por volcánicas de Caicara, y en superficie por sedimentos recientes. La roca caja es de composición aparente Cuchivero, y el contraste entre Caicara y Cuchivero en superficie parece ser de transición ígnea, con una zona de alteración amplia alrededor de los 300.000 m del perfil.

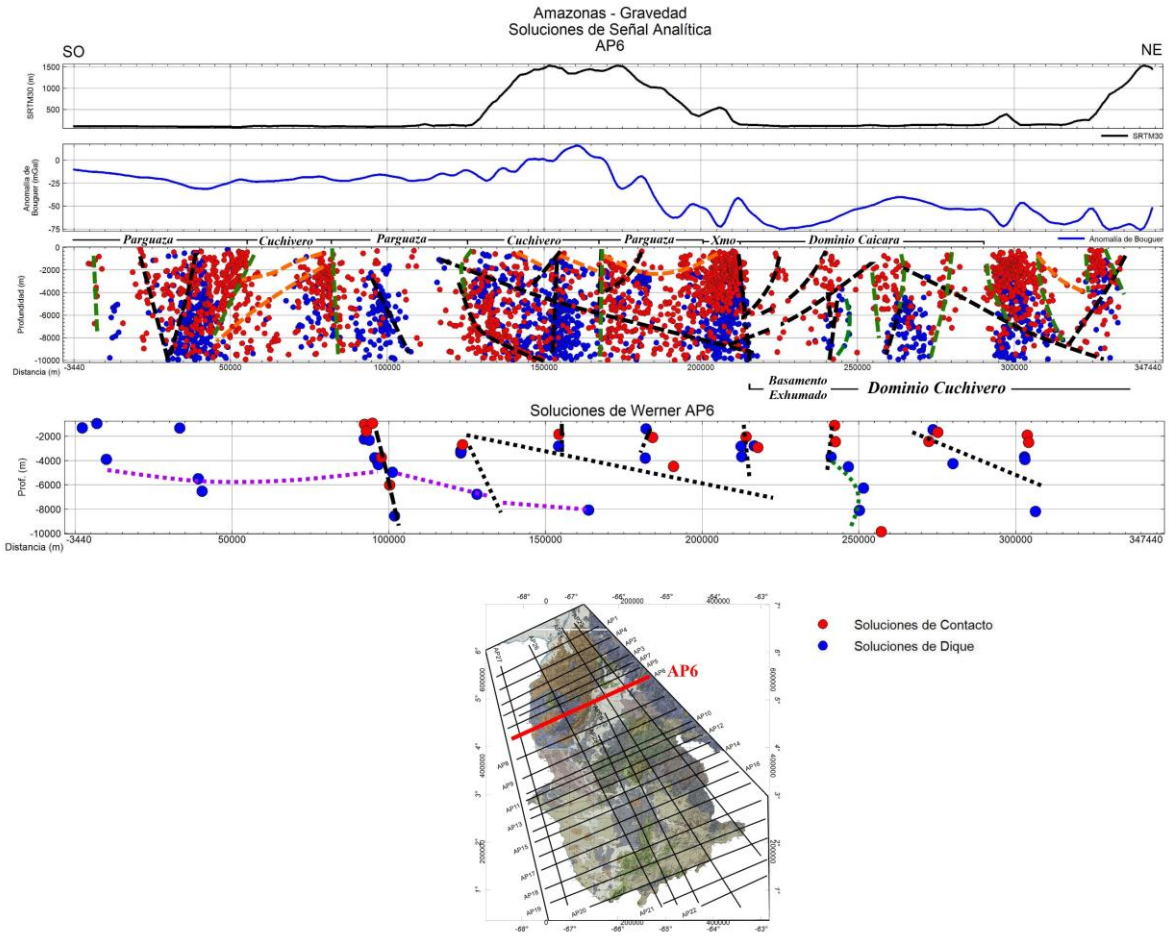


Figura 214. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP6 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales.

Hacia el oeste de los 190.000 m, el perfil exhibe primero en superficie rocas del grupo de Formaciones Moriche, Cinaruco y Esmeralda, pero el mismo no sugiere tener una extensión en profundidad relevante. El perfil continúa hacia el oeste con alternancias entre Parguaza y Cuchivero, con varios sistemas verticales de alteración y fallas tanto de antiguo corrimiento como transcurrentes y normales. Es importante mencionar que Cuchivero muestra cierta

gradación en su estructura, denotada en el perfil por líneas de guiones naranjas en donde se menciona en el tope del perfil que afloran dichas rocas. La base de Cuchivero para el sector se estima en unos 6 km a 4 km. Esta vez se observa que Cuchivero no profundiza, sino al contrario, se encuentra a niveles superiores someros, infiriendo que la zona de contacto entre Cuchivero y los cinturones se debe encontrar más al sur, ya que es la extensión de la interfase en un plano de proyección pseudo-paralelo al contacto aparentemente.

El siguiente perfil (AP8) se revelan sistemas corticales no vistos en los anteriores (Figura 215). Es el perfil que revela más variabilidad composicional a nivel cortical y sistemas de fallas que rompen con algunos de los esquemas anteriores, marcando el cambio de dominio cortical.

En el extremo noreste se encuentra la corteza compuesta principalmente por Cuchivero, pero existen un conjunto de soluciones que parecen representar la transición cortical entre Cuchivero y los CRV. Esta transición se encuentra entre 4 km al NE y 10 km a medida que se avanza hacia el SO. No obstante, la naturaleza del contacto se desconoce, ya que al mismo tiempo el sistema se encuentra cortado por dos sistemas de fallas de buzamientos opuestos, uno de los cuales no ha sido dibujado debido a la incertidumbre. En este sector, la parte más superficial de la corteza está cubierta por rocas volcánicas de Caicara, la cual alcanza un espesor máximo aproximado de 1 km. A medida que se avanza hacia el SO, alrededor de los 200.000 m del perfil, ya Caicara aparenta alcanzar un espesor de unos 2-3 km, limitado por un aparente sistema de corrimiento antiguo, ahora interceptado y modificado por un conjunto de fallas normales y rumbo-deslizantes, que colocan una sección de basamento sin-diferenciar del Proterozoico Temprano aflorando en superficie. La aparente intrusión que permitía el colapso de este sistema visto en el perfil anterior no se encuentra acá representada. Sin embargo, varias zonas de alteración y cambios de composición se observan, que indican que este basamento no es homogéneo.

El perfil continúa hacia el SO con afloramientos de Parguaza, Caicara y Cuchivero. En la parte SO del perfil, se observan los cambios composicionales producto de los intrusivos sin diferenciar denotados en el mapa geológico por Xgu. Estos cuerpos son más antiguos que la mayoría de las estructuras tectónicas del sector, y probablemente se encuentren cubiertos hacia el oeste (en Colombia) por rocas como Parguaza o sedimentos. La roca caja aparente

es Cuchivero, pero solo en los últimos 6-4 km. En este sector, se evidencia que la colisión fue oblicua, ya que Cuchivero aparece en ambos extremos del perfil, y en el medio, una sección de basamento exhumada más reciente.

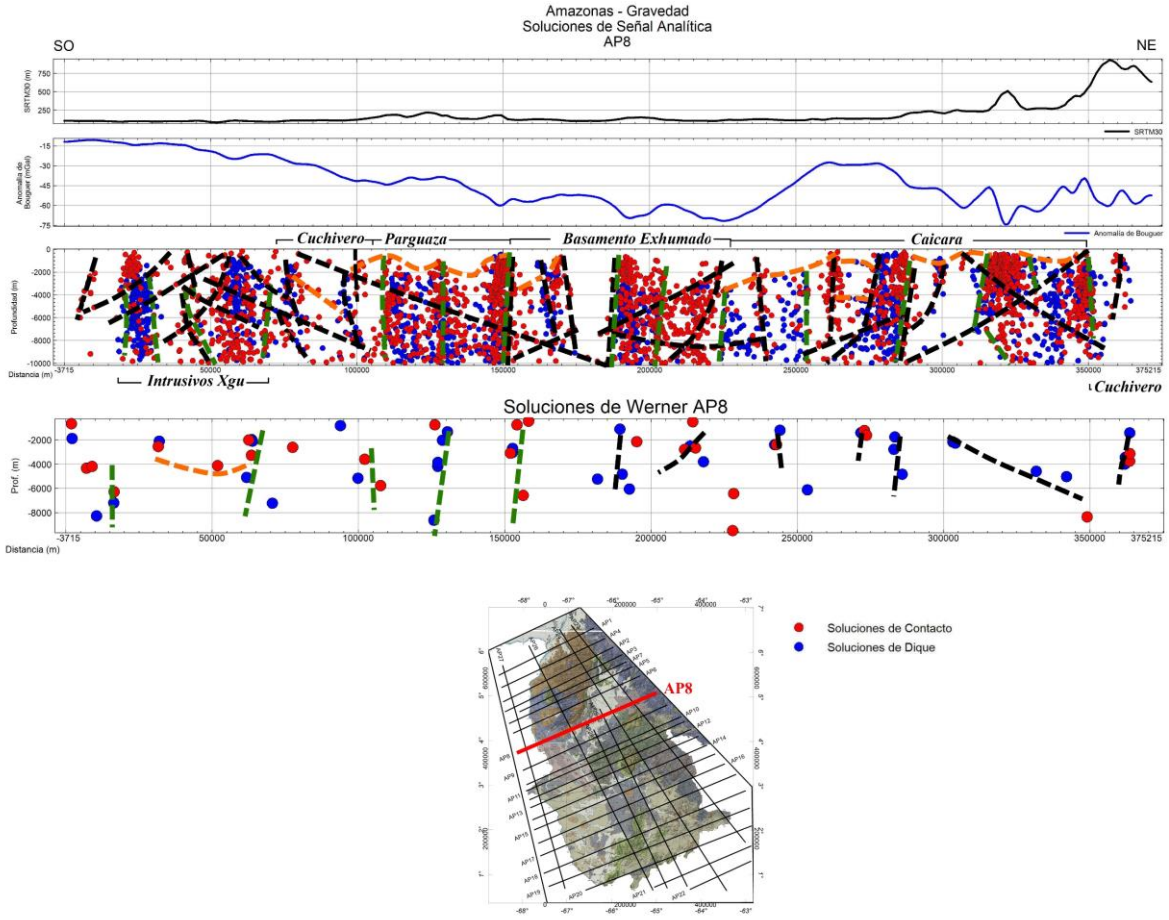


Figura 215. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP8 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales.

Por tanto, se propone que estas rocas denominadas como "basamento sin-diferenciar" (que pertenece al cinturón de Río Negro), junto a los gneises de alto grado (como Mitú), se encuentran sobre composición cortical de los cinturones granulíticos más antiguos (por transición o por corrimiento, como Kanukú e Uraricoera), y que todo el conjunto colisiona con el conjunto Cuchivero, y que sinc/post colisión intruye Parguaza y equivalentes. En el norte la colisión aparente tiene en el presente una disposición SO-NE, y en el este, NO-SE. Este aparente borde de colisión en el norte podrá ser mejor referido en los perfiles longitudinales, pero ya se han observado algunas fallas (como en este perfil) semi-

horizontales sin aparente escape en superficie, como proyección de un plano. Es probable también que las fallas de menor inclinación siempre observadas en la sección SO de los perfiles también pertenezcan a este sistema. Ya que en el extremo más SO de los últimos perfiles, son sistemas normales buzantes hacia el oeste.

El perfil AP9 (Figura 216) presenta algunas de las dificultades existentes en el Estado Amazonas para la interpretación, que consiste en la presencia de rocas como Cuchivero o Caicara en zonas donde el tectonismo y la relación de edades es complicada. Este perfil, en primera instancia será dividido en dos secciones, la primera de 200.000 m del perfil hacia el SO y la segunda desde el mismo punto hacia el NE. Ambos sectores se encuentran limitados por una falla aparentemente normal, pero que en el pasado fue inversa, y que separa corticalmente una composición de Grupo Cuchivero y una dominada por rocas de los cinturones como Río Negro, terreno San Carlos, e intrusivos del Proterozoico Temprano. El sistema estructural continúa hacia el oeste con fallas casi paralelas y otras de mayor buzamiento, pero que en general siguen la tendencia principal, a modo de hemi-graben. Al inicio, se exhibe una sección de Complejo Río Negro, seguido por unos intrusivos cuya roca caja a niveles muy superficiales fue Caicara, siguiendo de otros intrusivos que no afloran, pero que podría ser la extensión de las plutónicas de San Carlos. Es probable que parte de Cuchivero se encuentre por debajo de estos terrenos inicialmente corridos. También se observa que Caicara, a pesar de tener un predominio de cristalización hacia el Grupo Cuchivero, estas rocas también cristalizaron en la otra provincia que posteriormente, o simultáneamente, colisionaría con Cuchivero. En la sección de señal analítica, dentro de la losa cabalgada de Río Negro, se observa una especie de bandeamiento, que podría coincidir con diferentes niveles del complejo; y hacia la zona de intrusivos Xgu, se observa una aparente zona de contraste plegada, limitada por estas fallas anteriormente mencionadas, y que parece tener correlación tanto con estas rocas intrusivas como con San Carlos, todas ellas del Proterozoico Temprano.

Hacia el otro sector, desde 200.000 m hacia el este, continúa el sistema de quiebre de Cuchivero en la parte más oriental del perfil, con un intrusivo de gran tamaño, correlacionable con el mencionado por el mapa geológico como “calco-alcalino”, y que marca una frontera relevante en el perfil de gravedad. En lo cortical intermedio, la sección

podría estar compuesta de Cuchivero mayoritariamente, y constituye una sección enterrada de la misma, es decir, conserva relativamente sus espesores vistos en otros perfiles, pero ahora a niveles de profundidad mayores. Se observa a su vez lo que parece ser un contraste de densidad cóncavo (guiones morados) que podría coincidir con el basamento sobre el que Cuchivero reposa. Mediante Werner, el sistema regional es ejemplificado de mejor manera, donde se encuentra una sección de Cuchivero siendo cabalgada. Otra interfase aparece entre 150.000 m y 250.000 m que representaría la base o algún contraste de solidificación de Cuchivero.

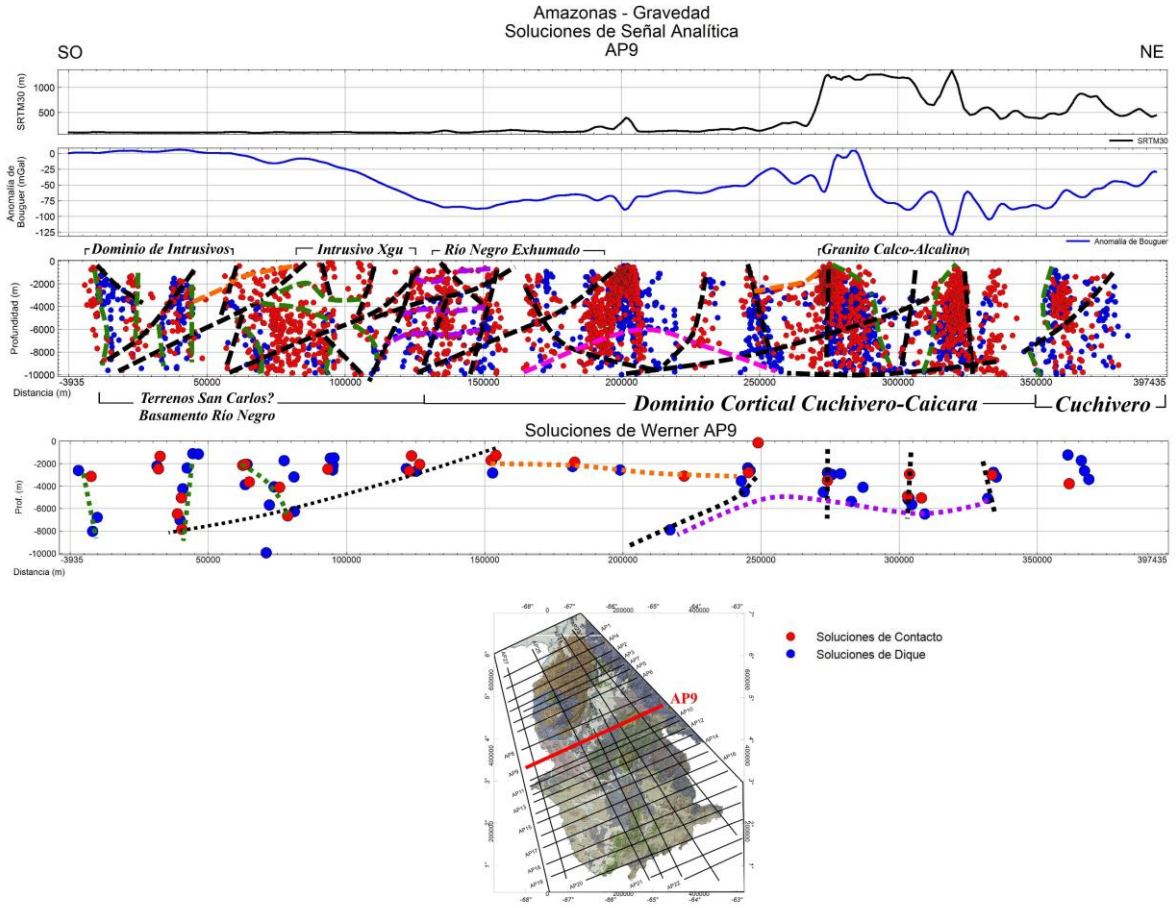


Figura 216. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP9 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales.

El perfil AP10 (Figura 217) también sostiene una división de dos sectores aproximadamente en los 200.000 m del perfil, mediante un cambio de dominio cortical. El occidente se encuentra caracterizado por composiciones de cinturones y complejos,

cortados por fallas normales más recientes e inversas más antiguas, y también por numerosos intrusivos que generan zonas de alteración con cúmulos de soluciones. Las rocas que afloran hacia esta sección presentan un contraste de densidad que varía entre 1 km y 4 km, pero que no necesariamente representa la base de estas litologías. En el centro del perfil, existe una falla aparente rumbo-deslizante con componente normal, que coincide con la principal zona de alteración de los intrusivos calco-alcalinos. A su vez, esta zona es la que divide el perfil, y coincide con una anomalía de Bouguer baja junto a un alto topográfico.

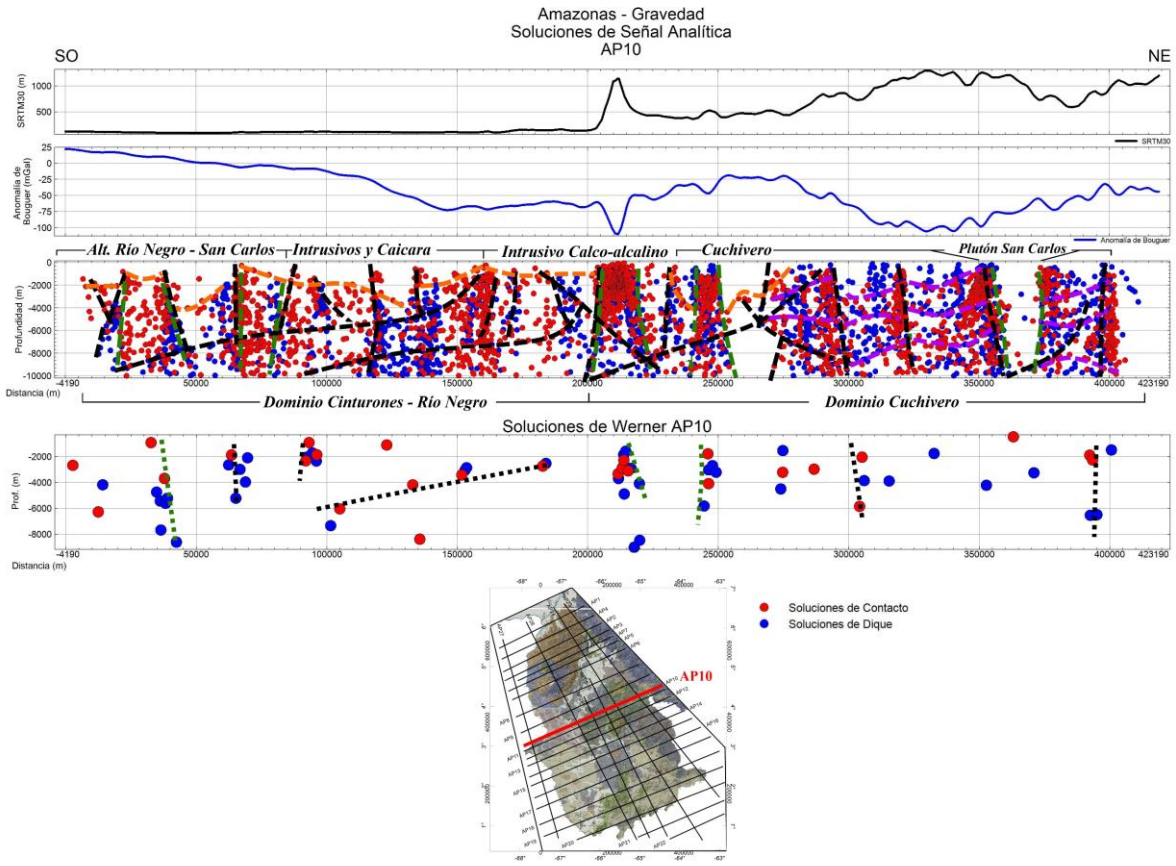


Figura 217. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP10 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranjas = cambios sub-horizontales.

En la parte oriental, es complicado presumir la cinemática de las fallas, no obstante, parecen tener una componente deslizante en la mayoría de los casos. Estas fallas a su vez se encuentran deformando contrastes horizontales que aparentemente ocurren dentro de las provincias ígneas. Estos contrastes se han visto internos a Cuchivero en ocasiones

anteriores, pero acá la base de la provincia es incierta. A pesar de ello, es aparente que Cuchivero pasa por debajo de los cinturones, al menos parcialmente. Ya en este perfil hacia el NE el quiebre de Cuchivero es menos evidente, ya que se verticaliza, producto quizás de la naturaleza oblicua de la colisión. Se recuerda también que al momento de abordar Cuchivero, se planteaba que, durante el episodio de colisión, esta provincia debió actuar como un conductor deformable, y que, por ende, las estructuras tienden a perderse.

Para la sección y locación, la composición cortical de los cinturones sugiere ser sistemas sub-verticales de intrusiones y zonas de alteración, con bandeamientos horizontales, que luego de ser plegados y fallados, se presentan en algunas ocasiones como losas continuas y móviles. El sistema estructural superficial dominante es de tipo normal con componentes de rumbo. Es como si la colisión y deformación generara estructuras de colapso hacia el oeste, expresadas en fallamiento normal.

Al evaluar el perfil AP11, se observan estructuras corticales similares al anterior, pero más espaciadas entre sí. Indicando que hacia el sur la distancia de compresión se reduce relativamente, producto de la deformación oblicua. La proyección de los cinturones de alto grado coincide con las estructuras principales y, por ende, se intuye que en realidad la corteza ubicada por debajo de Cuchivero (CRV?) subduce a estos cinturones, y que el conjunto de provincias obducidas a niveles corticales intermedios consisten en bloques de estos cinturones, tales como Uraricoera y Kanukú. La gran cantidad de zonas de alteración debido a los intrusivos posteriores no permiten observar el límite entre Cuchivero y la corteza infrayacente, pero se estima en un espesor aproximado de 4 km variable dependiendo de si comparte espacio con las volcánicas de Caicara.

Los resultados obtenidos confirman un orden cronológico donde los cinturones pre-existentes consistían en las rocas que hoy componen las rocas de alto grado como Bakhuis, Cauarane (Kanukú), Coereni y posteriores Uraricoera, Trairao, Urubu, Anauá, siendo los más antiguos la contra parte de Imataca hacia el sur, que por metamorfismo resultan en edades posteriores a la misma, incluso posteriores a los mismos CRV. Entonces, el evento de metamorfismo principal de estas rocas hacia facies granulíticas fue el sistema de subducción. Durante la subducción, los CRV subducen a estos cinturones mientras existía un “mar u océano” entre los bloques rígidos, allí se formaron estructuras de islas que

permitían la formación de sistemas ante-arco y pos-arco, marcados como grábenes y horst en las soluciones. Una vez los sistemas se llenan de magma cristalizado a nivel cortical intermedio (Cuchivero) y somero (Caicara), el sistema se aborta y la losa migra. Durante este proceso Cuchivero y el CRV se quiebran, donde parte del material obduce durante la colisión y otra sigue su camino hacia el manto, donde se funde. Sin embargo, se esperarán a los perfiles siguientes para diferenciar las estructuras que definen a las intrusiones posteriores como San Carlos, los granitos calco-alcalinos y Río Negro son previas a Parguaza, Mucajaí, Surucucus, Mitú, y otros equivalentes, siendo estos últimos probablemente resultado de los últimos restos de esa losa abortada reciclándose hacia superficie. Es probable que los intrusivos como Río Negro sean producto de las etapas tempranas de colisión, donde aún había losa subduciendo y el margen no había migrado por última vez (recordando que el margen ya había migrado con anterioridad, ver Capítulo Cuchivero).

No obstante, este sistema corresponde a la última etapa de subducción para el área en estudio, y siendo la losa subductante los CRV, no explica el origen de los intrusivos de Cuchivero y Supamo. Por ende, se infiere una inversión de subducción, donde la etapa de subducción previa consistía en la profundización del margen circundante a los cinturones de alto grado que hoy se ubican hacia el sur, permitiendo el engrosamiento de la corteza que conformaba al margen de Imataca. Al acabarse el material de los cinturones a subducir, la todavía baja consistencia de los CRV condujo a que estos iniciaran la subducción y es donde ocurre la inversión. La losa abortada siguió aportando de material para engrosar la corteza superior con Cuchivero y Supamo, y cuando estas alcanzan un espesor considerable, el sistema se vuelve a trancar, que es cuando ocurrió la colisión. Esta losa abortada de nuevo sirvió de material inicial para las intrusiones posteriores dentro y hacia el sur del sistema de colisión.

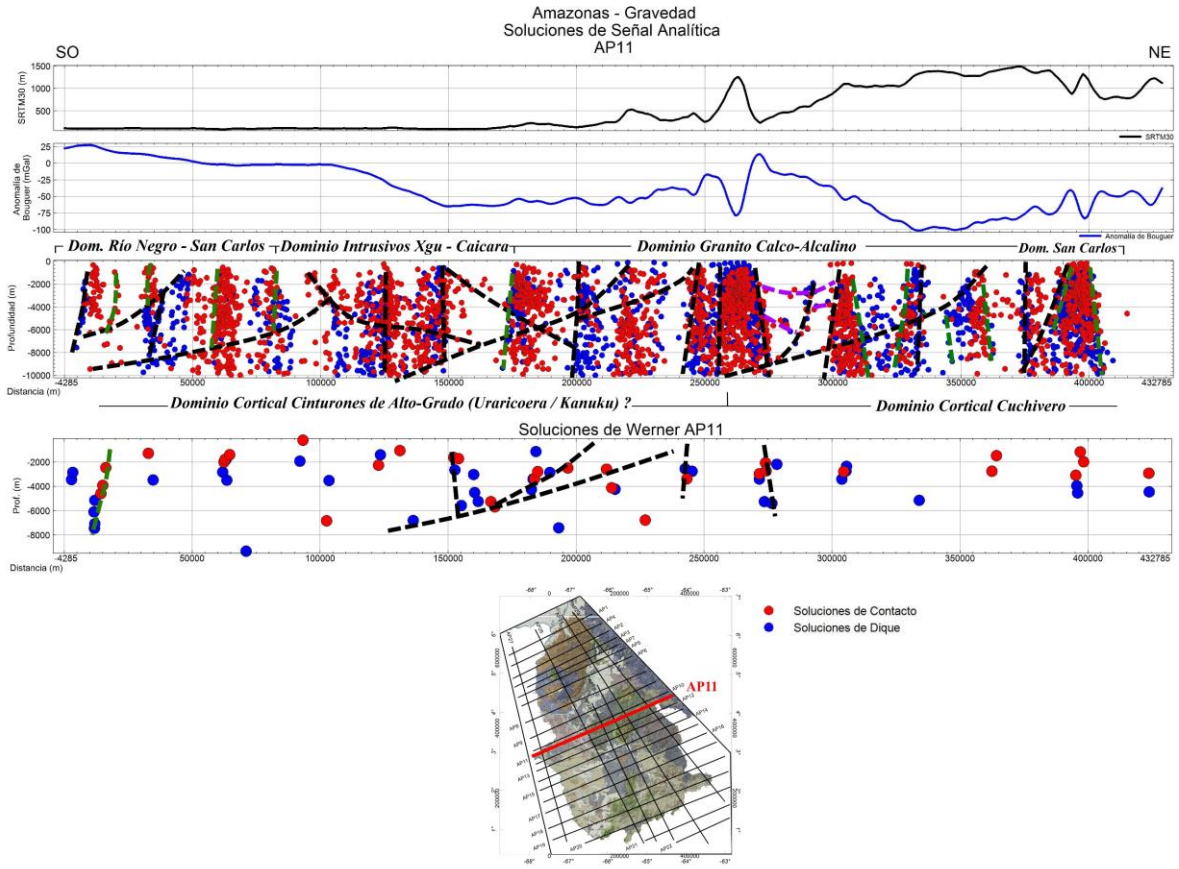


Figura 218. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP11 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

En el siguiente perfil (AP12) el sistema tectónico es similar, divido en dos provincias corticales donde se encuentra el dominio de los cinturones de alto grado y el conjunto de intrusivos sinc/post colisión hacia el oeste y el dominio Cuchivero sobre CRV hacia el este. También se observan diferentes conjuntos de fallas de rumbo y normales que ayudaron a acomodar los bloques durante el acoplamiento. Sin embargo, en el mapa geológico aparecen muchas otras fallas y fracturas que acá no se dibujan, ya que muchas de ellas no aportan soluciones debido a la falta de contraste al no cambiar la litología.

Muchas de estas fallas/fracturas de menor envergadura y alcance cortical podrían deberse a la compensación en superficie por rebote isostático. La colisión tuvo que generar en su momento levantamientos topográficos que hoy día no están presentes, ya que al ser la mayoría de rocas intrusivas, debió existir barreras superiores que permitieran este tipo de sistemas. Al luego erosionarse y servir de relleno para las cuencas venezolanas y

colombianas, y quizás también para aquellas en el Brasil interior, al remover esa carga de las rocas, ocurre un rebote isostático lento. Al ocurrir, se deberían generar grietas en superficie ya que material que antes se encontraba compacto tanto en el eje vertical como en el horizontal, al disminuir la carga en el eje vertical, debe ocurrir una relativa relajación de los esfuerzos en el eje horizontal. Esto probablemente es lo que propicia la gran cantidad de fallas con cinemática normal sin presencia de evidentes esfuerzos de tracción, más allá de los ocasionados por fallas de rumbo. Aquellos sistemas de graben interpretados en los mapas, en los cuales se observan estos sistemas de rumbo, evidentemente si corresponden a depresiones generadas por la conjugación de esfuerzos tracción en esa área particular.

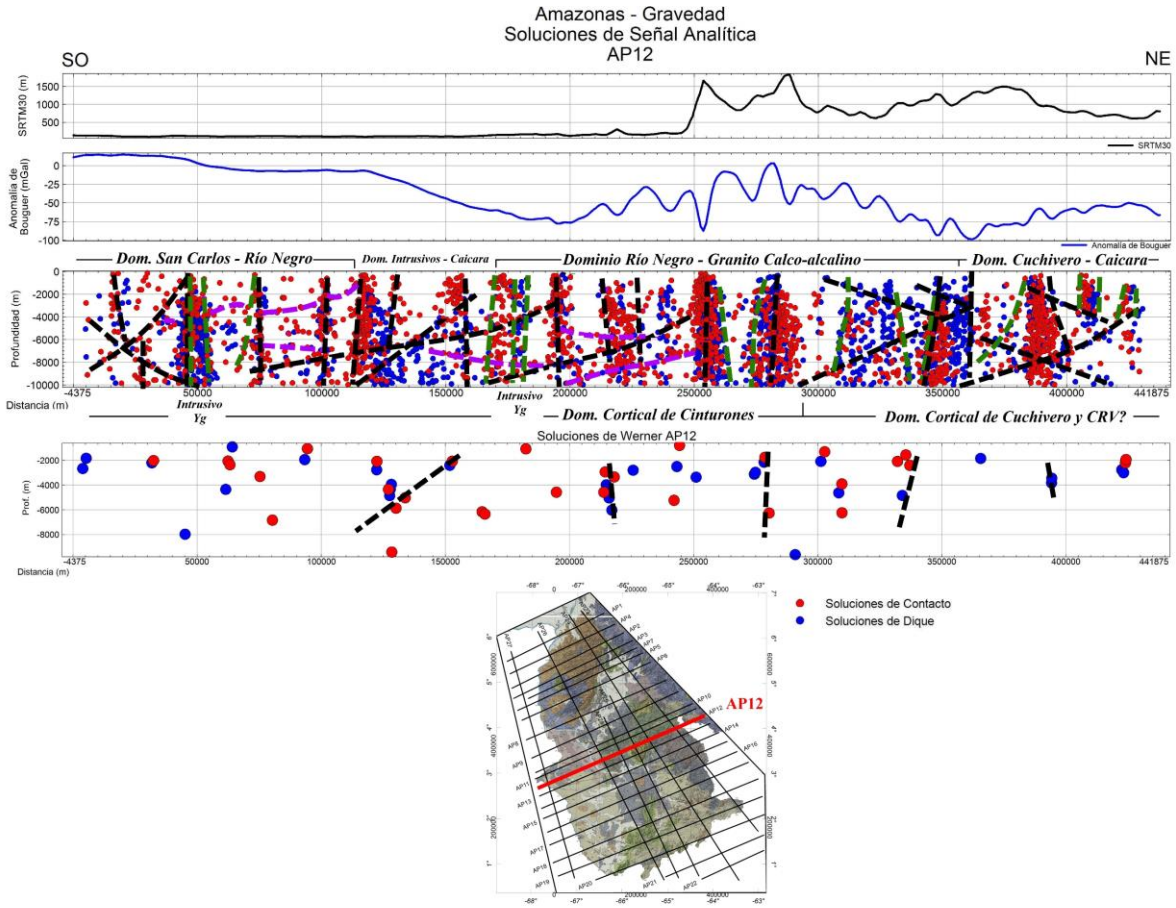


Figura 219. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP12 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

AP13 es un perfil en el cual el sistema tectónico entre los cinturones de alto grado y Cuchivero se encuentra más profundo. No obstante, hacia la sección oriental del perfil, se presentan variaciones sub-verticales que indican los intrusivos de Río Negro dentro de la corteza de cinturones. Ya que en superficie afloran rocas volcánicas de Caicara, y algunas probablemente de Cuchivero, esta parte podría corresponder con la zona de amalgama, donde todo aparece mezclado. Existe una situación similar hacia el extremo opuesto del Edo. Amazonas en los perfiles anteriores, indicando que la colisión tuvo disposición oblicua. Aparentemente secciones de Caicara sobre-corrieron a los cinturones, en los cuales, por la inversión de la subducción, fue todo intrusionado por rocas de Río Negro.

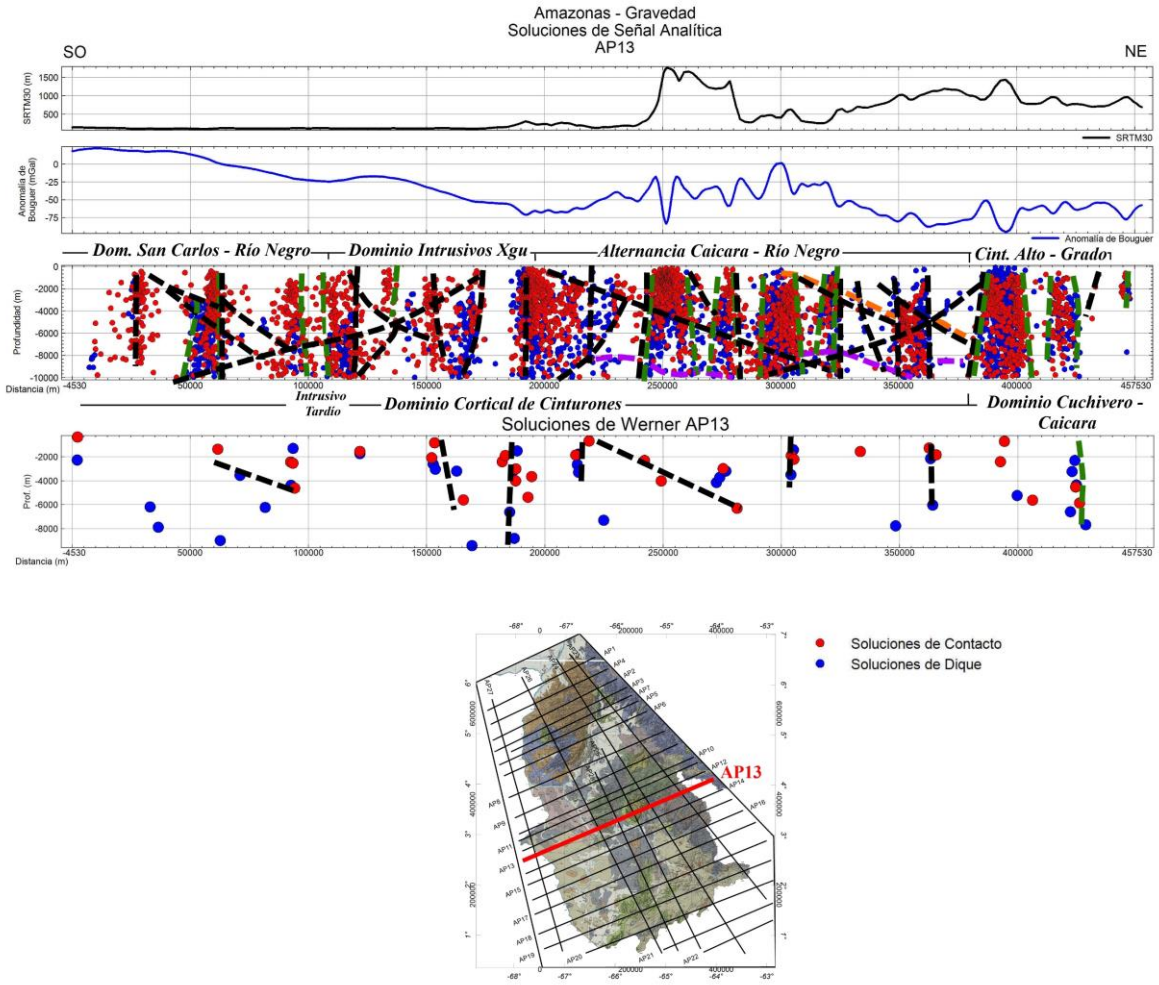


Figura 220. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP13 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

Se observa también una interfase de contraste alrededor de los 8 km de profundidad, que podría corresponder con alguna variación vertical de la corteza compuesta por estos cinturones. En términos estructurales, el perfil es parecido al anterior, con cuantiosas fallas verticales de componente principal deslizante y en menor grado normal, con fallas inversas aparentemente invertidas post-colisión durante el relajamiento.

Es probable también que, como el perfil ya no corta perpendicularmente la zona de subducción, la interfase profunda observada sea la proyección de esta falla.

Más hacia el sur se encuentra el perfil AP14, el cual continúa revelando estructuras similares a los anteriores. Un sistema de fallas de corrimiento aparentemente invertidas, numerosas fallas de rumbo con cierta componente normal, que ocasiona muchos de los contrastes verticales observados, y por los que algunas intrusiones fueron facilitadas. En este, el dominio cortical de Cuchivero es reducido, no obstante, Caicara aparece en numerosas ocasiones en superficie, principalmente hacia la sección oriental del perfil.

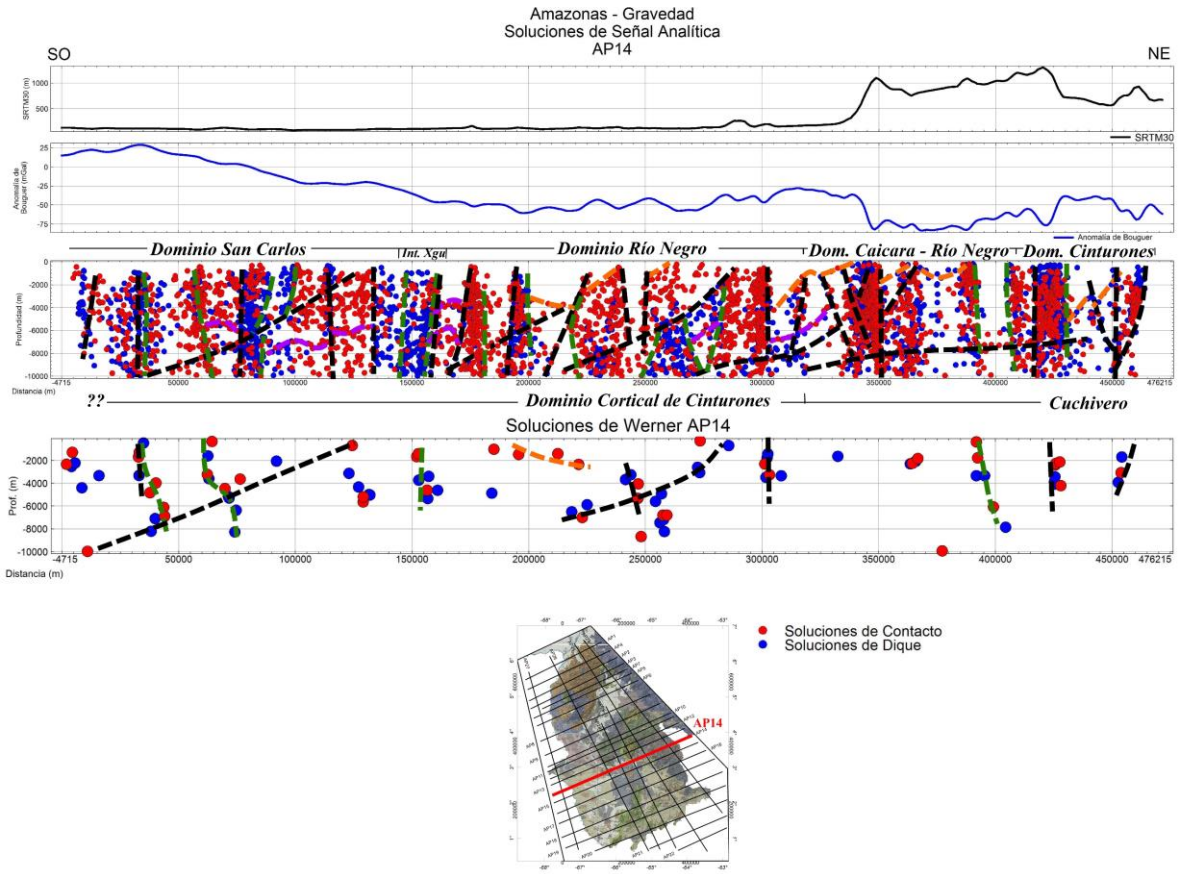


Figura 221. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP14 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

Algunas interfases horizontales fueron encontradas en algunas áreas del perfil, que indican variaciones de composición que revelan que los cinturones presentaban previamente algunos bandeamientos. La sección dominada por Cuchivero se caracteriza por un rápido descenso del valor de gravedad, cuyo límite coincide grosso modo con el observado mediante datos magnéticos.

El perfil AP15 presenta un registro topográfico suave hasta los 330.000 m aproximadamente, donde la curva de anomalía decrece desde 25 mGal hasta alrededor de -50 mGal. Esta zona corresponde con una corteza principalmente dominada por los intrusivos de San Carlos, Río Negro y otros posteriores, en niveles de profundidad intermedio-someros, donde el engrosamiento ocurre hacia el NE a medida que el perfil se aproxima hacia la ubicación de los cinturones más antiguos. Hasta ahora se ha comentado de dos grupos de cinturones principales, tomando como referencia a Kroonenberg *et al.* (2016), los más antiguos se encuentran hacia el este que constituyeron el núcleo de la masa gruesa y competente que colisionó, que obligó la inversión de la losa de subducción, evidencia de ello es que, al noreste de los mismos, no se observa la presencia de cinturones más recientes equivalentes a este sistema con excepción de aquellos colocados mediante fallas de rumbo e inversas posteriores. Mediante este estudio se presume que tales bloques al noreste del núcleo estable debieron o pudieron existir, pero fueron subducidos, y sirvieron, en parte, para la formación de lo que hoy día son Cuchivero y Caicara. Los déficits de gravedad observados obedecen principalmente al engrosamiento de la corteza producto de la colisión, y el cambio de longitud de onda de las anomalías hacia el NE refleja la mayor complejidad tectónica y composicional que la zona representa a nivel cortical. Parte del déficit corresponde también a que antiguos bloques de Cuchivero y CRV al subducir generan que las rocas de mayor densidad ahora se encuentren a mayor profundidad en el manto.

En el centro del perfil las soluciones se acumulan, y si bien las mismas obedecen principalmente a un sistema de fallas aparentes de rumbo y que corta la continuidad de un sistema de corrimiento corto a un sistema normal, coindice con la zona de proyección del

borde de cinturones de alto grado más joven, tomando en cuenta la curvatura y tendencia de estos cinturones (visualmente). Justo después hacia el NE, se observa una interfase que aparenta estar plegada, debido al sistema de corrimiento principal.

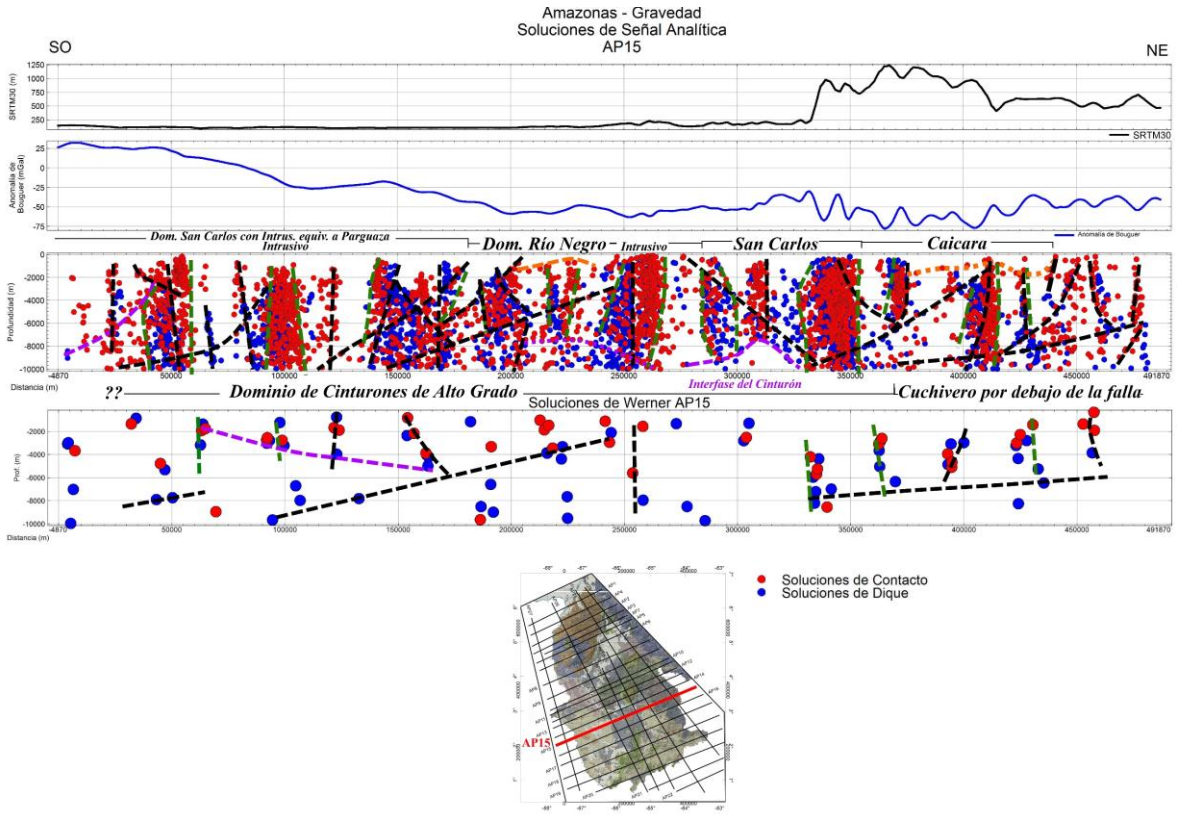


Figura 222. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP15 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

El perfil AP16 (Figura 223), en general, representa la continuidad de las estructuras y patrones composicionales del perfil anterior. Debido a la disposición del mismo y de los cinturones de alto grado, a niveles corticales intermedios, se desconoce el alcance de los mismos hacia el SO. Sin embargo, los sistemas de corrimiento, plegamiento y fallamiento son similares a los observados anteriormente, estando el perfil divido en los mismos dominios.

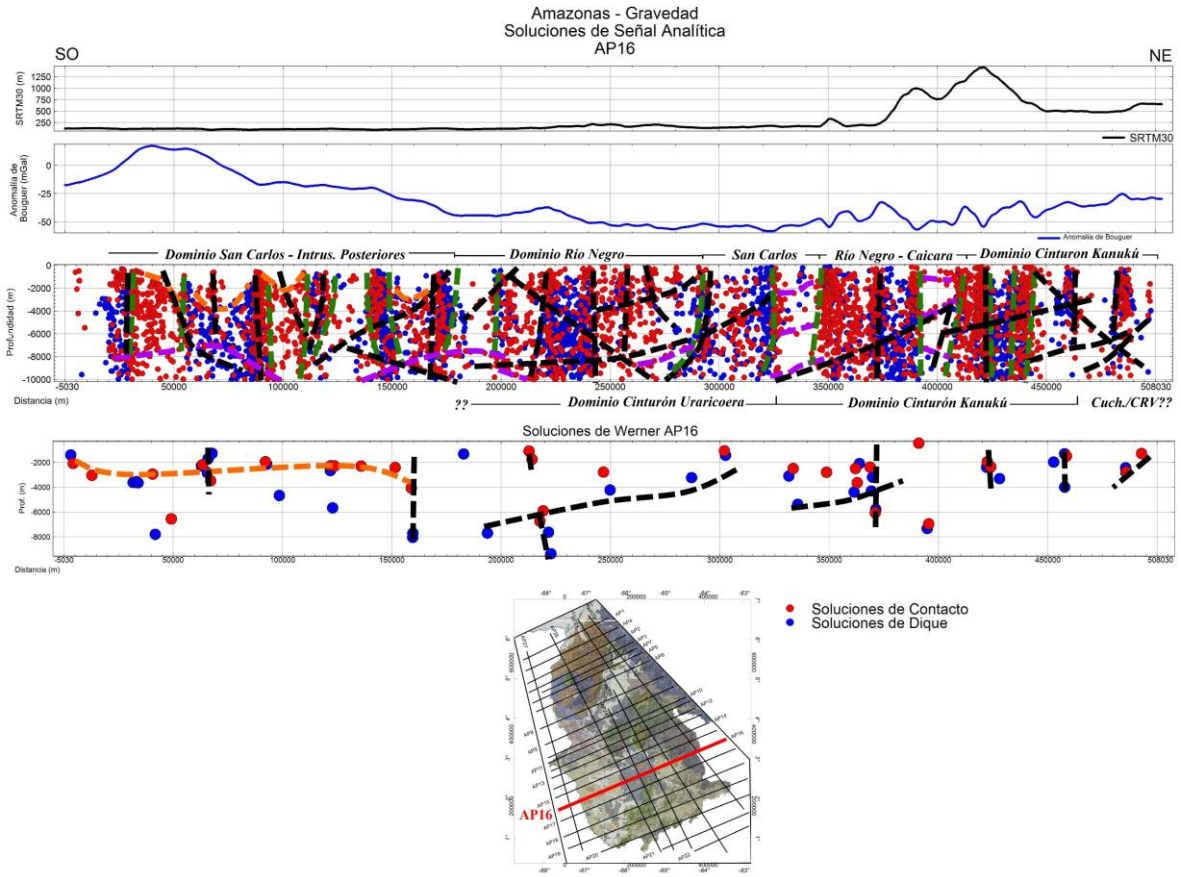


Figura 223. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP16 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

En el perfil AP17 ya deja de observarse (o es menos evidente) la zona de subducción, producto de la profundidad que debería tener la misma para esta latitud. La zona de quiebre de Cuchivero se encuentra al norte y, por ende, para la ubicación de este perfil, probablemente la losa se encuentra más allá de los 10 km de profundidad. No obstante, el sistema tectónico es similar al observado en perfiles anteriores. El sistema dominante parece haber sido primero de compresión y luego de fallas normales que aprovecharon los planos de debilidad anteriores para su movimiento. Numerosas fallas de rumbo es lo que controla en muchas ocasiones los contrastes de densidad y el reacomodo de los bloques, también facilitando en algunos casos las zonas de alteración y ascenso magmático. A partir de los 450.000 m del perfil aproximadamente hacia el oeste, la litología consiste en una alternancia aleatoria entre rocas de Río Negro, San Carlos y otros intrusivos que, según la información geológica, son del Mesoproterozoico o equivalentes a Parguaza (última etapa

de intrusivos estudiada). La composición cortical que sirvió de roca caja para todos estos intrusivos se presume que es el cinturón de alto grado en el grupo de Uraricoera. Sin embargo, no se descarta que exista otro tipo de composición que se encontrara al sur de este grupo, la cual no aflora. El sistema posteriormente durante la colisión fue deformado hacia contactos de corrimiento. Estos contrastes de corrimiento no necesariamente coinciden con los cambios de bloques. Es decir, los corrimientos no necesariamente colocaron en contacto bloques de composiciones diferentes, sino que muchos consisten en corrimientos internos a estos bloques. Algunas de las fallas de mayor ángulo, unas cóncavas y otras rectas, consisten en fallas normales posteriores. Las fallas más verticales sugieren ser los principales sistemas rumbo-deslizantes, y estos sí actúan en algunas zonas más evidentes colocando en contacto rocas de composición muy disímiles.

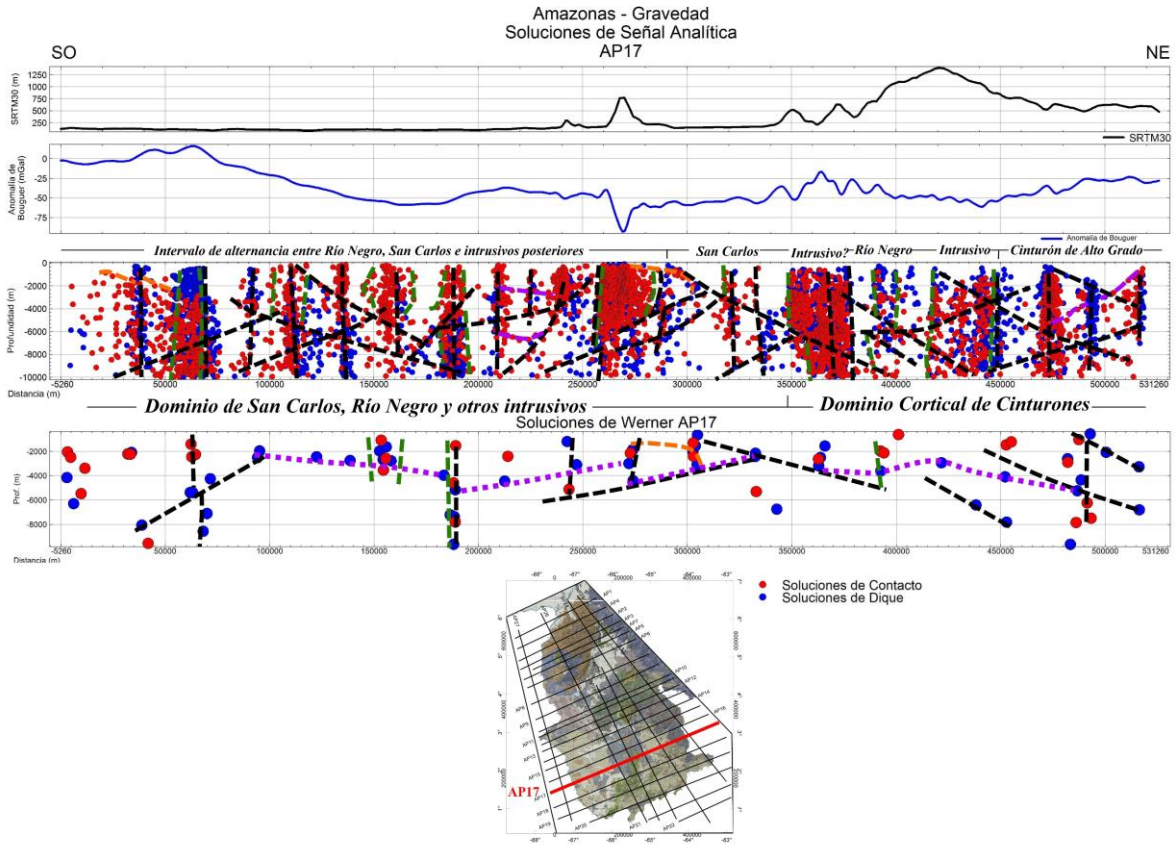


Figura 224. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP17 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

El perfil de Werner por otra parte, al mostrar sistemas similares, también resalta la característica de soluciones que parecen seguir una interfase relativamente horizontal, y en promedio ubicada a los 3-4 km de profundidad. La naturaleza de la misma se desconoce, incluso es probable que sea un artificio visual producto del modo operativo de las ventanas para calcular tales soluciones. Pero la tendencia que siguen parece coincidir con el sistema tectónico y, por ello, es probable que ella sea producto de algún cambio generalizado de densidad producto de condiciones de temperatura y presión relacionadas a la profundidad a la cual anteriormente estas rocas se pudieron encontrar. Si se considera la tendencia regional de la curva de anomalía de Bouguer, su forma coincide grosso modo con la disposición de esta interfase. En el perfil de Señal Analítica dicho cambio desaparece entre la cantidad de soluciones generadas por otros rasgos geológicos de mayor contraste.

En AP18 comienza a observarse la somerización de los cinturones de alto grado más antiguos, es decir, el sistema de corrimientos se encuentra a menor profundidad relativa a los perfiles anteriores y disminuyen su ángulo. Como se observa en el perfil, las intrusiones más recientes afectaron tanto al bloque dominado por San Carlos como al bloque de Río Negro. Según los resultados obtenidos, las rocas de alto grado como Mitú tuvieron que conformar la roca caja de las rocas intrusivas del sistema San Carlos – Minicia – Macabana, que luego fueron metamorfizadas a gneises. Estas rocas se encontraban a su vez sobre e intruyendo a los cinturones de alto grado más antiguos (Kanukú – Uraricoera). Tuvo que existir una etapa de compresión previa a la colisión con Cuchivero, hacia el otro lado del margen, ya que las rocas de Río Negro no presentan el mismo grado de metamorfismo, y por tanto, fue un intrusivo posterior. Luego, la colisión hacia el este fue lo que ocasionó que todas estas secuencias intrusivas estuvieran intercaladas y plegadas, y por ello, los corrimientos aparecen cortando sistemas intrusivos enteros.

En orden ascendente, la corteza debería estar compuesta en el sur del Edo. Amazonas por: a) Cinturones de Alto Grado más antiguos, como Kanukú; b) Cinturones de alto grado como Uraricoera; c) Cinturones de alto grado como Mitú (este ya de una etapa intrusiva muy posterior respecto a los antiguos, que conformaban la masa relativamente estable continental); d) intrusivos luego metamorfizados como San Carlos–Minicia-Macabana intercalados con intrusivos de Río Negro de un evento posterior; e) cortando toda la

secuencia se encuentran los intrusivos equivalentes a Parguaza más recientes. Las rocas de Avanavero se ubican posteriores a los cinturones de alto grado antiguos y previos a Mitú, es por ello que hacia el oeste del Escudo en general, no se observan. Según el mapa geológico los últimos se encuentran en donde están los cinturones de alto grado más antiguos.

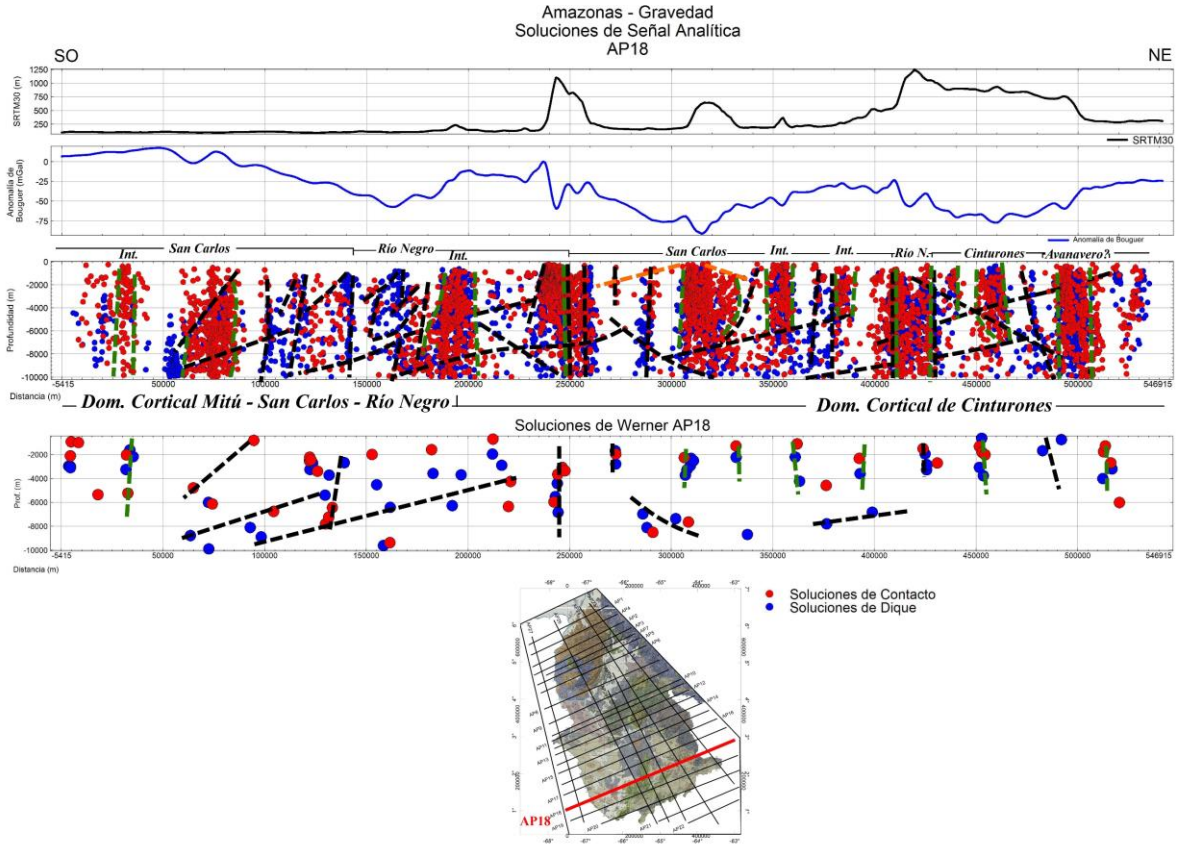


Figura 225. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP18 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

AP19 es un perfil que marca aproximadamente un espesor para San Carlos que alcanza como máximo 4 km de profundidad. Por debajo del mismo, debe existir litología de cinturón de alto grado como Mitú, lo cual seguiría con la secuencia formacional primaria previa a los eventos intrusivos por subducción. El contacto entre Mitú y Uraricoera parece ser de corrimiento. En este sector, el cinturón de Kanukú se encuentra en esa disposición debido a una falla de rumbo hacia el este, y una de corrimiento invertida con componente de rumbo hacia el oeste. En la actualidad, todo el sistema esta relajado, por ende, en los mapas de anomalía se observan déficit de gravedad en orientación similar a las fallas que

primero fueron corrimientos y luego fallas normales. No necesariamente estas fallas de corrimiento son las mismas trazas de las posteriores normales. Como se observa en los perfiles, numerosas fallas normales con mayor ángulo prevalecen y, en realidad, la componente de inversión de las fallas preexistentes no es muy marcada. Generalmente, las fallas normales formadas tienen buzamiento hacia el este, generando la caída gravitacional de algunas secciones más deprimidas que otras, y por ello, la tendencia observada en los mapas de gravedad. Es decir, las zonas de altos de gravedad coinciden con las zonas en primera instancia levantadas por los corrimientos, y las zonas de caída de gravedad corresponden a las fallas normales que se formaron luego producto de la relajación.

La variabilidad horizontal es remarcable, con gran cantidad de intrusivos que cortan toda la secuencia, en adición a aquellos contrastes también verticalizados producto de intrusiones como Río Negro y San Carlos.

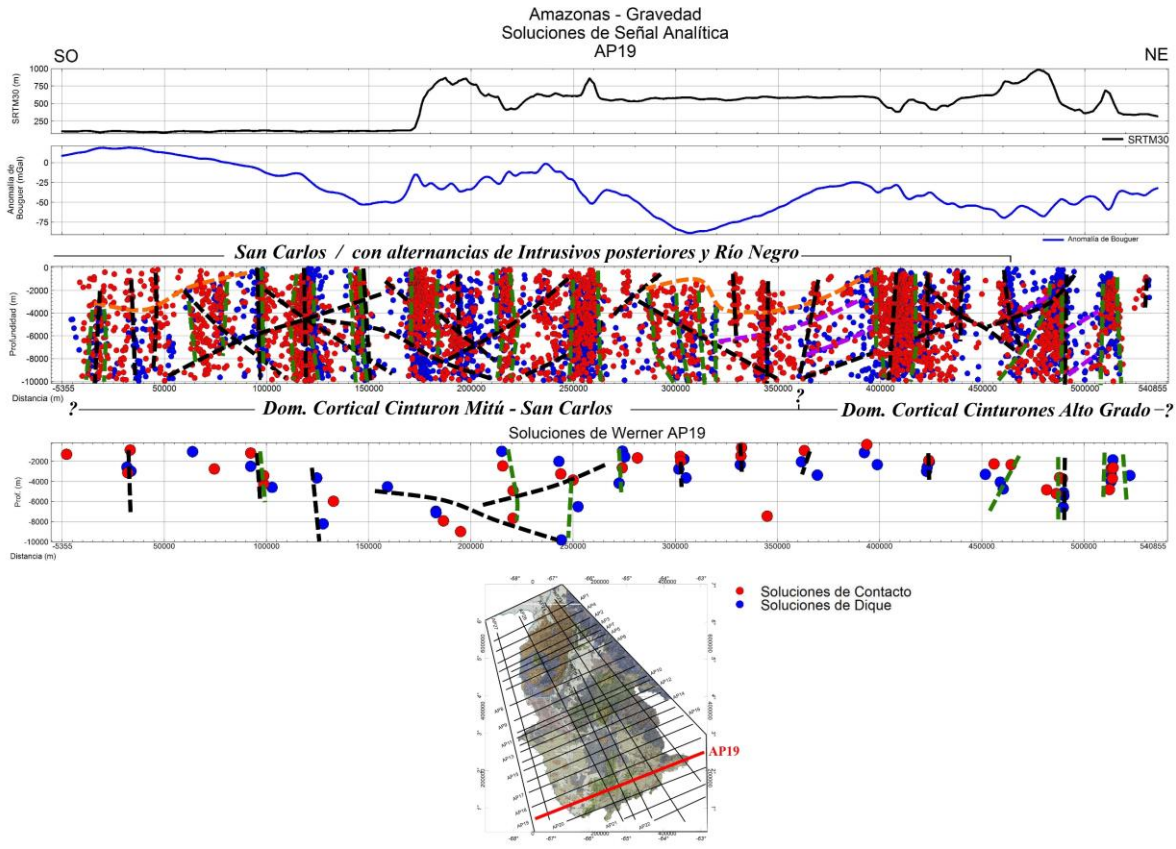


Figura 226. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP19 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

En AP20 las soluciones están restringidas básicamente a litologías asociadas al cinturón Mitú – San Carlos y al cinturón Uraricoera. Algunas intrusiones son observadas coincidentes con localidades donde se encuentran rocas del evento intrusivo equivalente a Parguaza.

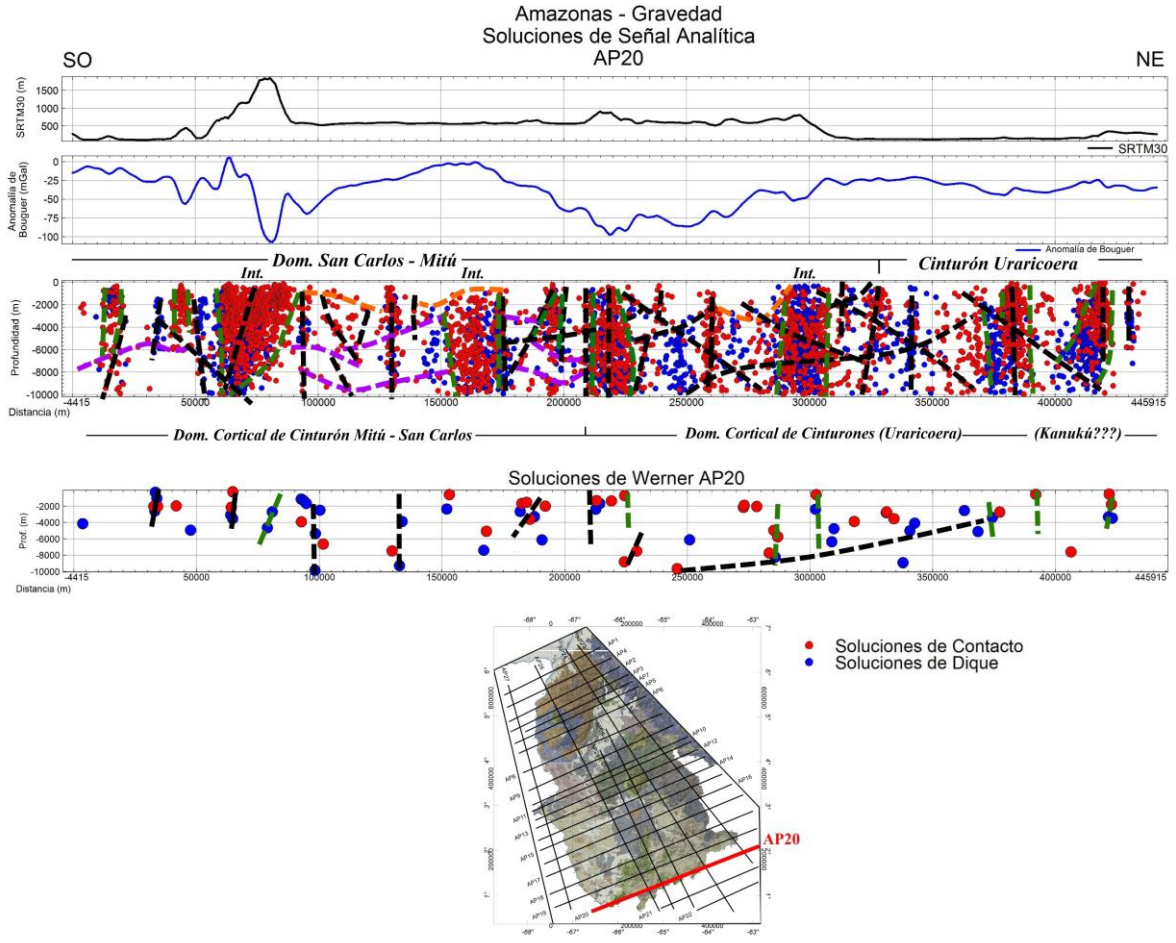


Figura 227. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP20 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

Acá los intrusivos parecen tener un tamaño mayor al observado en perfiles anteriores, exceptuando a los vistos en Parguaza. El contacto entre los cinturones antiguos y Mitú sugiere ser de corrimiento. El mayor intrusivo observado se encuentra ubicado justo en una anomalía de Bouguer que alcanza los -100 mGal, atravesada a su vez por lo que parece ser una falla rumbo-deslizante. Algunas interfases horizontales se observan principalmente hacia el dominio cortical de Mitú, entre 5 km y 10 km de profundidad. Estas interfases no

son rastreables continuamente por la gran cantidad de fallas y un par de intrusivos de gran tamaño aparente que deforman a las mismas. La aparente zona de corrimiento con mayor espesor cortical se ubica entre los 200.000 m y 300.000 m del perfil.

El perfil AP21 es un perfil de corta longitud comparado al resto, lo cual permite observar con mejor detalle los patrones de soluciones. Lo más destacado del mismo ocurre alrededor de los 150.000 m del perfil donde se observa un intrusivo de gran tamaño de la etapa equivalente a Parguaza, caracterizado por un fuerte descenso de la gravedad hasta unos -100 mGal, y una topografía abrupta. Al ser el perfil de menor longitud, pero representado en el mismo tamaño papel, las fallas de corrimiento parecen ser de mayor ángulo, pero en realidad es el mismo sistema que en los perfiles anteriores. Acá la transición del cinturón Mitú (al oeste) y el cinturón Uraricoera (al este) es una combinación de una falla de corrimiento junto a otra rumbo-deslizante, siendo la de mayor incidencia en superficie esta última. De nuevo se observan algunas interfases horizontales discretas difíciles de correlacionar, las cuales ayudan a tener una idea de la disposición de las mismas y de la tectónica general, la cual sugiere hacia el oeste, fallas normales por colapso post-colisión.

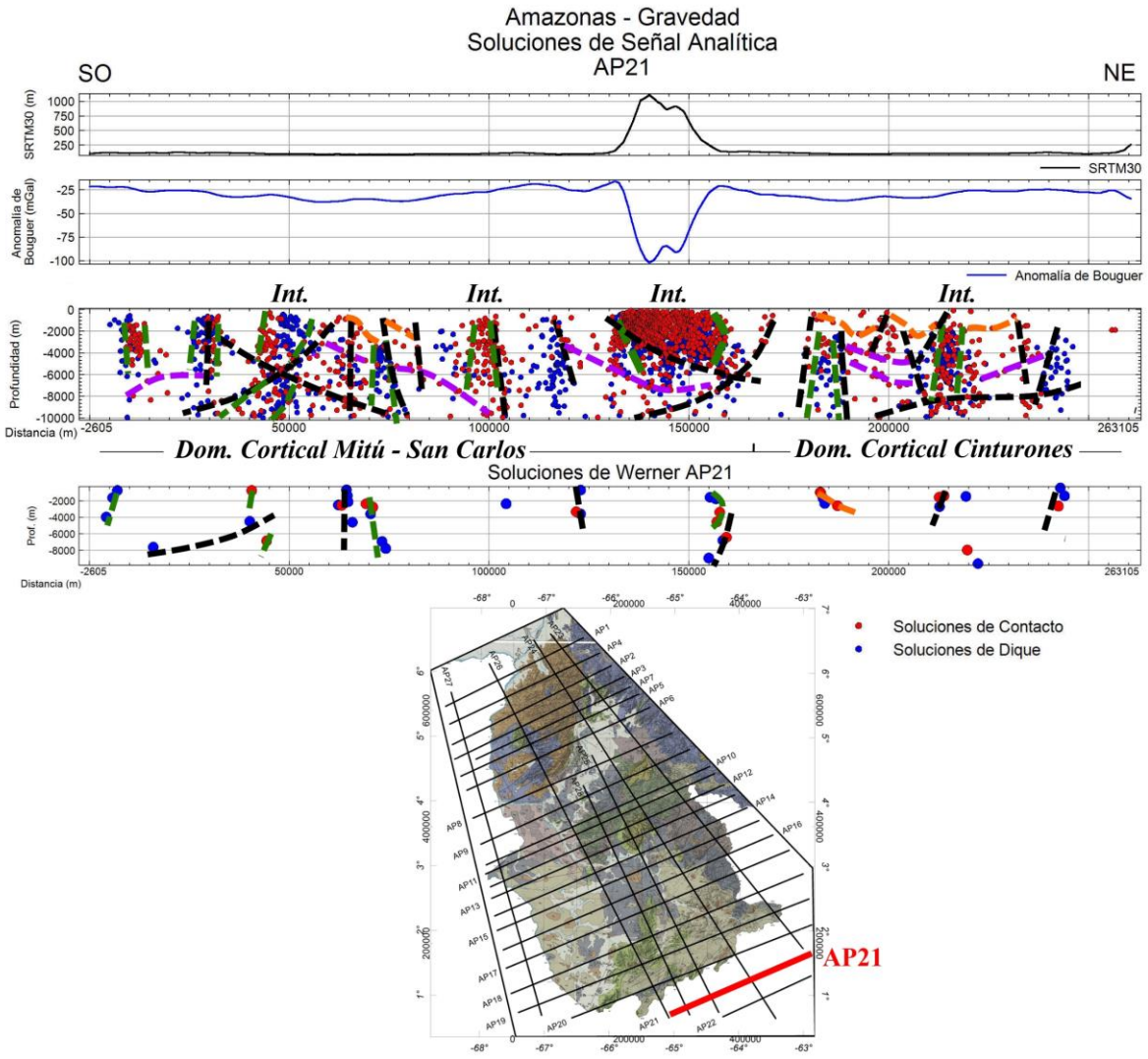


Figura 228. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP21 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

El perfil AP22 tiene una longitud aún menor, y la intrusión delimitada en el perfil anterior parece ser un batolito con una anomalía que alcanza los -100 mGal. Las interfases internas en el cinturón Mitú siguen apareciendo y el contraste con el cinturón de Uraricoera sigue siendo el corrimiento ubicado hacia el NE, con la influencia de algunas fallas de rumbo con componente aparente normal. La estructura que permite la intrusión de gran tamaño es un graben.

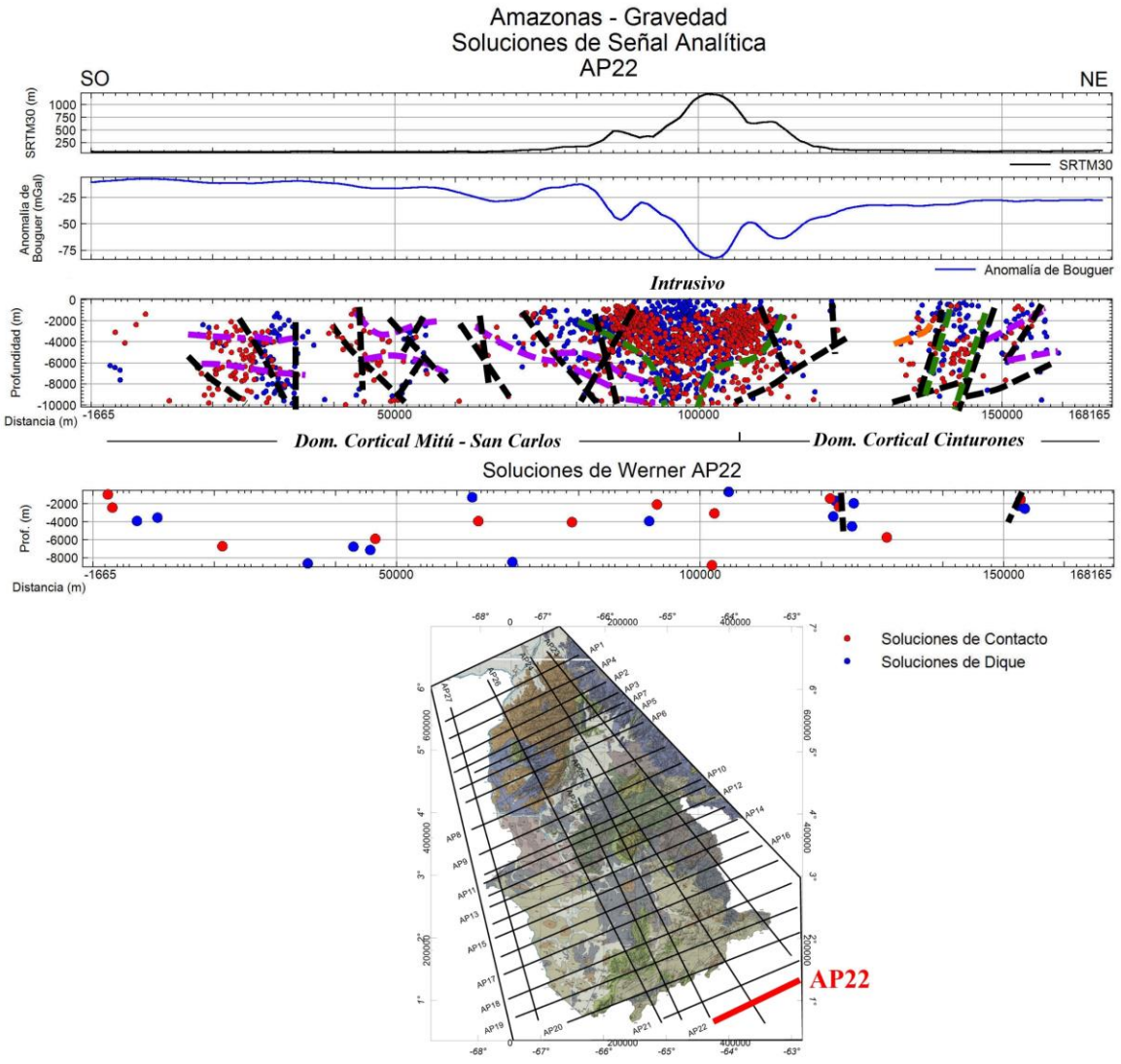


Figura 229. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP22 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

AP23 es el primer perfil trazado con dirección NO-SE del conjunto, al ser el mismo tan extenso, las estructuras son representadas casi verticales. No obstante, las interpretaciones fueron realizadas en el programa, y luego dibujadas sobre el perfil. El perfil se divide en 3 secciones principales: a) dominio cortical Cuchivero-Caicara, en donde la corteza intermedia parece estar constituida de estas litologías, encontrándose Caicara sobre Cuchivero, y que incluye hacia el norte la sección del intrusivo de Parguaza. En esta sección destaca también que se observan discretamente algunas interfases, probablemente el contraste entre este conjunto y los CRV; b) dominio cortical San Carlos – Río Negro,

donde esta dupla constituye la composición superior de la corteza, y por debajo debe encontrarse parte del cinturón Mitú y más profundo el cinturón de alto grado Uraricoera; c) dominio de cinturón Kanukú, el cual se encuentra cabalgado sobre el cinturón Uraricoera, y cuya contraste se da por un conjunto de fallas de corrimiento y algunos sistemas de rumbo que reacomodan los bloques.

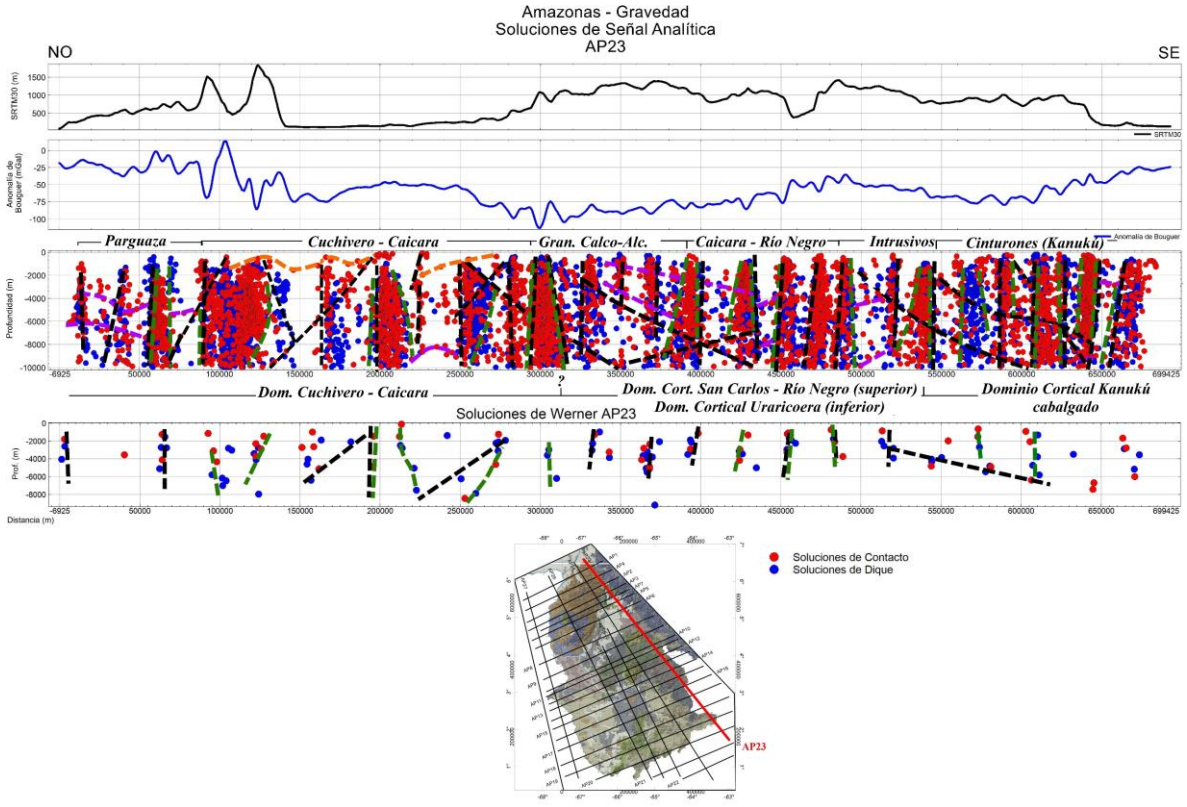


Figura 230. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP23 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

En el NO del perfil, alrededor de los 100.000 m del perfil se encuentra el cúmulo de soluciones por la proyección de uno de los puntos de calor denotados durante la interpretación de los mapas. El mismo se encuentra fuera del dominio superficial de Parguaza ya que allí la misma no alcanza superficie (como también se resalta en el perfil). El sistema que domina el contraste entre Parguaza y Cuchivero-Caicara infiere ser un graben asimétrico, donde las fallas norte son de mayor inclinación que las del sur. Es por ello que la curva de anomalía de Bouguer presenta un mayor gradiente hacia el norte. La ubicación de calor se ubica precisamente dentro de este graben.

AP24 se encuentra al oeste del perfil anterior y revela la configuración tectónica referente a la disposición entre las bandas pseudo este-oeste que se observan en el mapa magnético. Tales bandas obedecen a orientaciones primarias que presentan los cinturones a niveles corticales profundos. En el perfil, se puede apreciar que las fallas de rumbo son las que acomodan los diferentes bloques mientras las fallas de corrimiento dirigían la compresión. Las fallas horizontales que se observan son proyecciones de las fallas observadas en los perfiles perpendiculares.

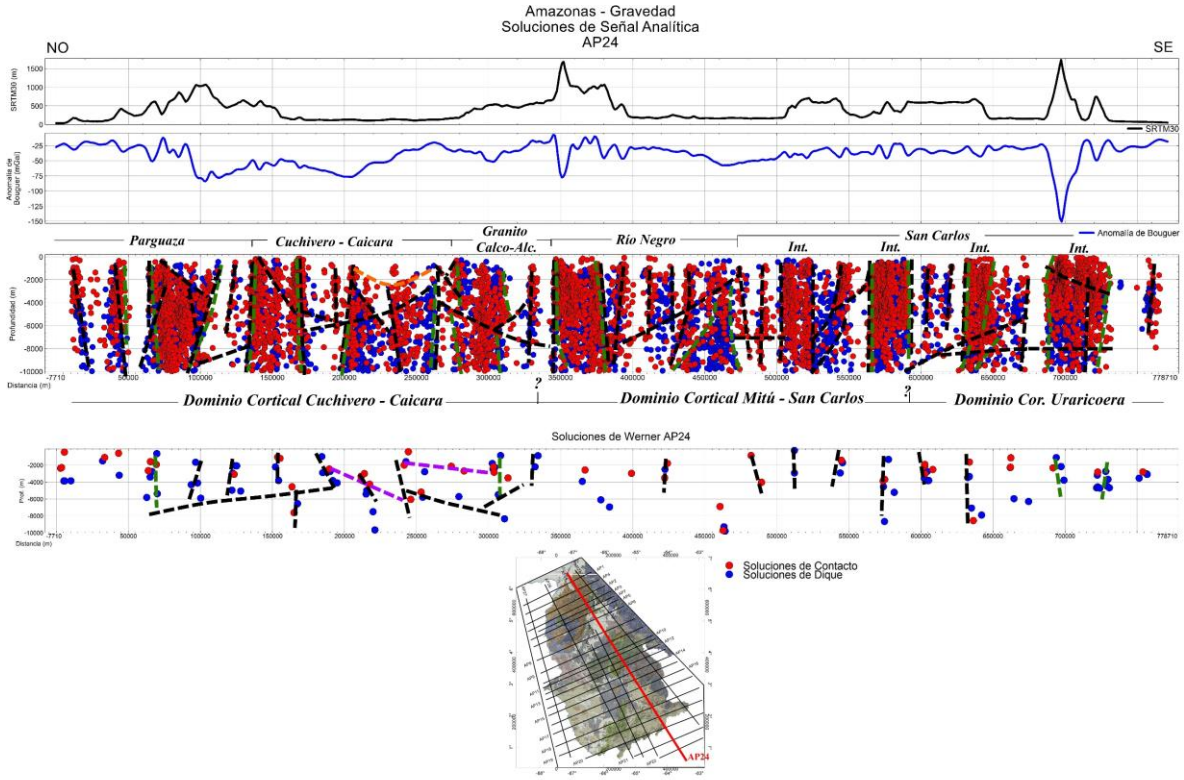


Figura 231. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP24 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

En el NO, el perfil se ubica sobre la zona de calor inferida, la cual representa una zona de alteración relevante o uno de los canales principales de ascenso de Parguaza, inmerso en un sistema de graben. Las fallas de la etapa de subducción previas a la inversión revelan cabalgamientos buzantes hacia el sur, mientras que posteriormente cuando ocurre la inversión y luego la colisión sistemas buzantes hacia el norte se forman. Por ende, las estructuras que deben dominar la tectónica cortical profunda obedecen a la etapa de

formación de la masa continental que conformaba a los cinturones de los grupos Kanukú, Uraricoera y el posterior Mitú. Las zonas de intrusión equivalentes a Parguaza, pero hacia el SE, se encuentran representadas por anomalías de Bouguer que superan los -125 mGal. Estos intrusivos son algunos a su vez atravesados por fallas de rumbo. Aproximadamente en los 350.000 m del perfil se encuentra el cambio de dominio entre Río Negro y Cuchivero, donde a su vez se observa un conjunto de soluciones que indican una fuerte alteración y metamorfismo. El cambio también es evidente en la curva de anomalía de Bouguer con un gradiente pronunciado. El contacto parece ser una falla rumbo-deslizante, pero hay que tener en cuenta que el contacto se da en superficie ente Río Negro y granitos calco-alcalinos posteriores a Cuchivero.

El siguiente perfil (AP25) es de menor longitud, producto del ensanchamiento de la zona hacia el sur. El perfil parte en el NO cerca del flanco sur del graben y culmina en el SE en territorio brasileño hacia el final del afloramiento del cinturón que componen los gneises de San Carlos – Minicia – Macabana, entre otras rocas. Hacia el sur, precisamente, la anomalía de Bouguer comienza a aumentar su magnitud, producto quizás de la salida del perfil de la sección de corteza engrosada por los cinturones hacia la franja adelgazada que separa al escudo de Guayana del escudo de Brasil Central (escudo de Guaporé).

En la sección de “Granito Calco-Alcalino”, se presentan un conjunto de soluciones que pueden sugerir la presencia de intrusivos de gran tamaño, probablemente correspondiendo a las zonas de contacto entre este mismo granito y su roca caja (aparentemente Río Negro).

Por debajo de Río Negro entre los 200.000 m y 300.000 m del perfil se identifican algunas interfases de contraste que infieren variaciones asociadas a las diferentes capas que componen al cinturón Mitú-San Carlos.

Tectónicamente, las estructuras son similares a las observadas anteriormente. Destaca, no obstante, un levantamiento de roca densa (probablemente del cinturón de Uraricoera por debajo de Mitú) entre 100.000 m y 180.000 m aproximadamente del perfil, indicado por la anomalía de Bouguer saliendo de la media entre -70 mGal y -50 mGal hasta unos -10 mGal. Este intervalo a su vez presenta gradientes altos debido a que es donde se ubican las anteriormente mencionadas intrusiones relacionadas a los granitos calco-alcalinos (y/u otros intrusivos).

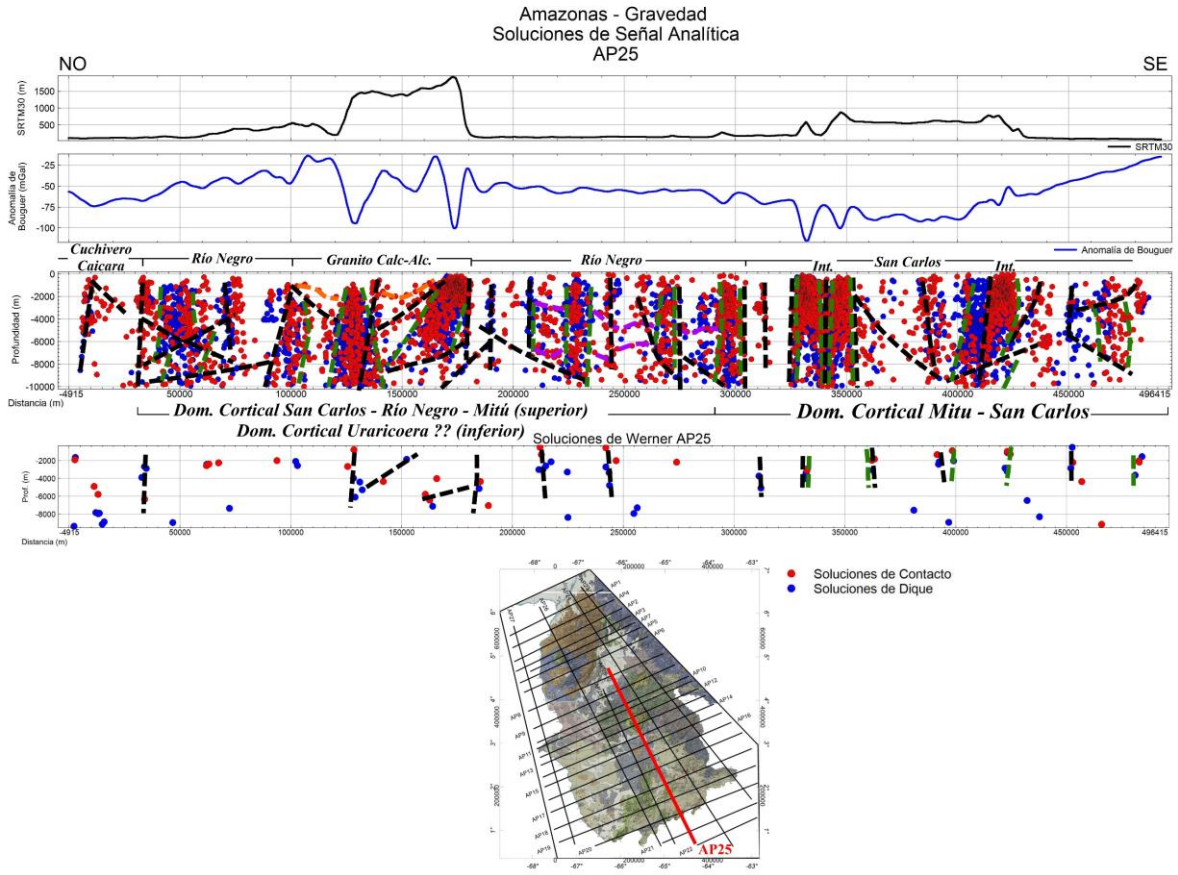


Figura 232. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP25 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

El perfil AP26 se encuentra más retirado de la influencia cortical de los cinturones de alto grado más antiguos como Uraricoera y Kanukú, no obstante, a pesar de no observarse soluciones referentes a ellos no se descarta que los mismos se encuentren a niveles de profundidad por debajo del cinturón Mitú.

Por el extremo SE del perfil, se observan las respuestas generadas por los "Int. Posteriores", los cuales se refieren a intrusivos equivalentes al período de formación de Parguaza, en roca caja que superficialmente es San Carlos, pero que en profundidad correspondería con el cinturón Mitú. El sistema tectónico que allí se observa es de corrimiento, fuertemente desplazado por sistemas de fallas de rumbo que fueron caracterizadas durante el análisis de los mapas. Hacia el NO de esta sección, se encuentra un extenso dominio superficial de Río Negro, fuertemente alterado por intrusivos sin diferenciar (Xgu) y otros más recientes. Tanto el basamento sin diferenciar de Río Negro como los intrusivos Xgu son del

Proterozoico Temprano, y por ende no se conoce cuál fue la roca caja en principio. Entre 300.000 m y 350.000 m del perfil se ubica un intrusivo Xgu con dimensiones bien delimitadas, y parece estar cortado por una falla que limita su proyección, y que podría sugerir su antigüedad mayor que Río Negro al éste estar en superficie.

Más al NO el perfil se adentra en dominio cortical de Cuchivero (y probablemente CRV en niveles inferiores) alrededor de los 250.000 m. La estructura que domina el sistema es una falla de corrimiento buzante hacia el norte, lo que confirma las interpretaciones sobre el cabalgamiento de Cuchivero por encima de los cinturones luego de invertirse la subducción e iniciar el cabalgamiento posteriormente. El dominio superficial denotado como "Parguaza" no sugiere que la corteza esté en su mayoría compuesta por estas rocas. De hecho, la roca caja es una combinación entre Cuchivero y Caicara, incluso formándose un anillo de rocas de Cuchivero interno a Parguaza según el mapa geológico. Esta zona en particular corresponde con una zona de calor, y las soluciones se ubican donde ocurren los principales focos de alteración, principalmente bajo Cuchivero. Es de acotar en entre 180.000 m y 200.000 m del perfil aproximadamente, las fallas que se encuentran allí corresponden con fallas observadas también en superficie, y que desplazaron una sección de Cuchivero en dos direcciones: primero hacia el SO y luego hacia el SE. Esto concuerda con el sistema propuesto de colisión oblicua con rotación de la provincia.

Por ende, la colisión inicia por la ubicación actual de Parguaza, la cual tuvo que haber rotado anteriormente, alcanzando la colisión hacia la frontera con Brasil (al sur del Edo Bolívar y este del Edo. Amazonas) posteriormente. Esta forma de colisionar fue lo que generó el graben observado en el norte del Edo. Amazonas, que corre en dirección SO-NE, el cual se ha caracterizado en perfiles anteriores por ser asimétrico. Es probable que al principio de la colisión esta zona fuese de corrimiento, pero al ocurrir el quiebre, estas fallas se invierten, siendo la falla normal principal el corrimiento anterior, y formándose un conjunto de fallas normales contrarías al otro lado del hemi-graben.

El perfil culmina en el NO con la inferida interfase que indica el comienzo de la cuenca sedimentaria.

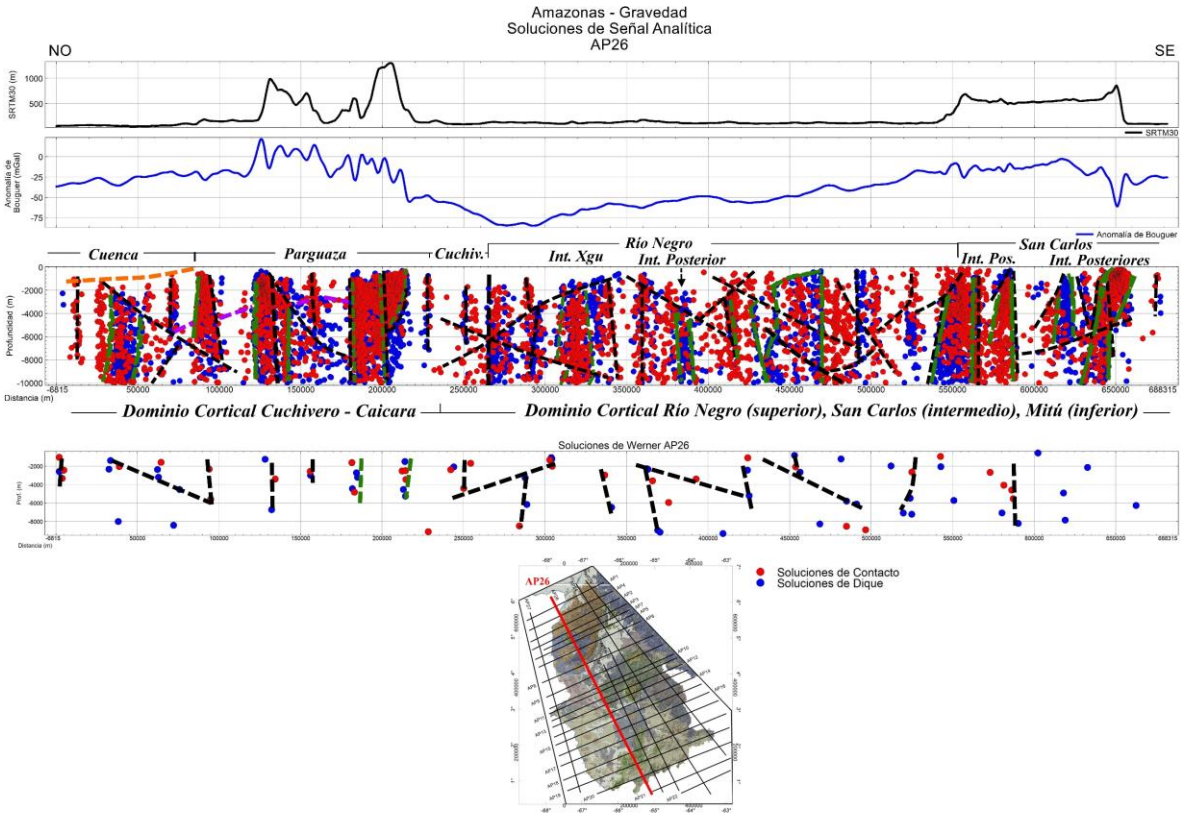


Figura 233. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP26 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

El perfil AP27 se encuentra ubicado al oeste del Edo. Amazonas, trazado para determinar el alcance de las provincias hacia territorio colombiano. En la zona de cuenca, se observa el descenso de la gravedad producto del déficit de densidad por las rocas sedimentarias; no obstante, se infiere a partir de los mapas interpretados y la disposición de las provincias que Cuchivero-Caicara y Parguaza-equivalentes se extienden en corteza superficial hacia Colombia. Los intrusivos que se marcan con "Int." corresponden a aquellos lugares donde se encuentran rocas equivalentes a Parguaza. Luego hacia el sur, a partir de los 200.000 m del perfil se proyecta la influencia de los intrusivos silíceos Xgu, siguiendo con rocas de Río Negro en una delgada franja limitada por fallas rumbo-deslizantes, para continuar ya con la sección relativamente homogénea de San Carlos a niveles someros. Al igual que en la sección norte, la zona sur del perfil también presenta algunos intrusivos de la misma etapa de Parguaza. Por debajo de estas provincias se infiere el dominio cortical inferior del cinturón de Mitú que de alguna manera podría encontrarse levantado hacia la sección de

cuenca. La curva de anomalía de Bouguer indica que hacia el sur del perfil el adelgazamiento cortical incrementa, a medida que el perfil se acerca a la zona de separación del cratón Amazónico (entre escudo de Guayana y el escudo de Guaporé).

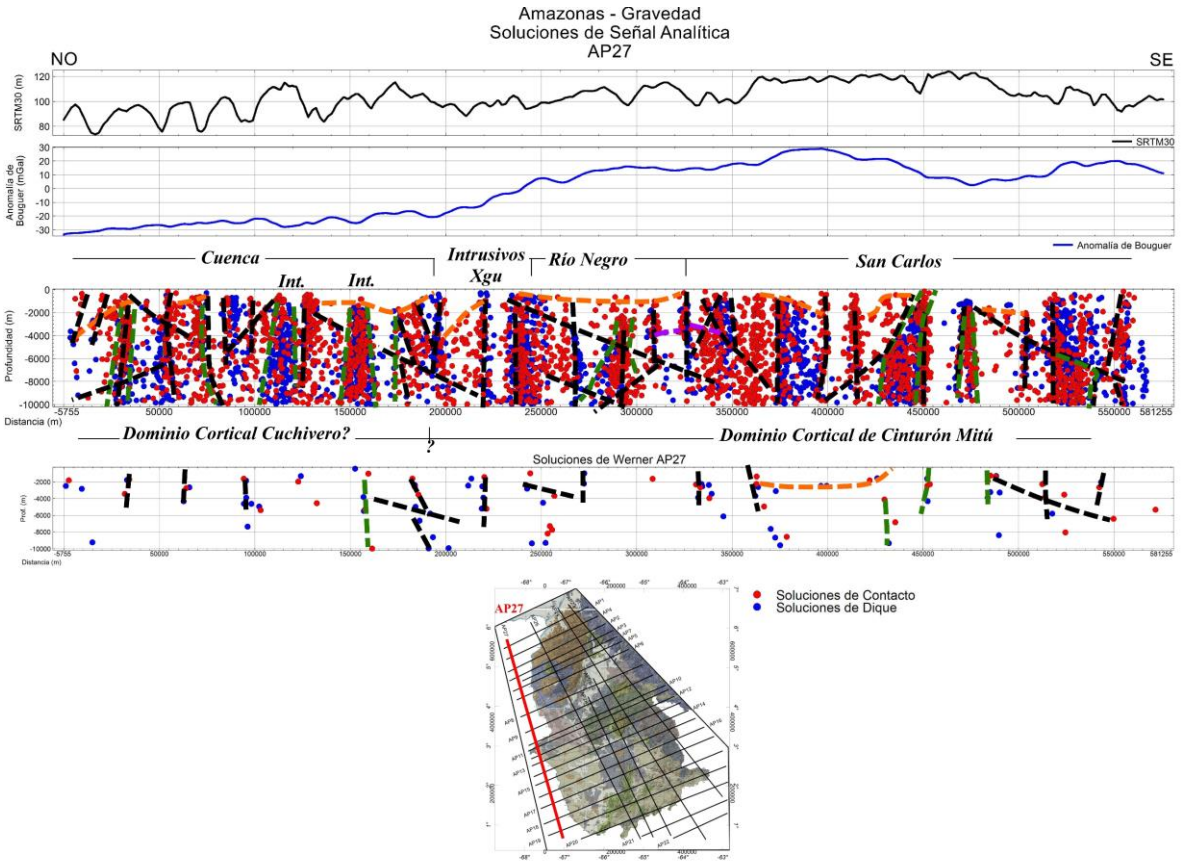


Figura 234. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP27 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

El perfil AP28 se encuentra en medio entre los perfiles AP25 y AP26. El mismo ha sido trazado para observar la continuidad de las estructuras entre ambos. En el mismo, se representan sistemas y composiciones bastante similares al perfil AP25 principalmente, donde el cambio de dominio cortical ocurre aparentemente cerca de los sistemas rumbo-deslizantes interpretados mediante los mapas en la frontera sur del Edo. Amazonas con Brasil.

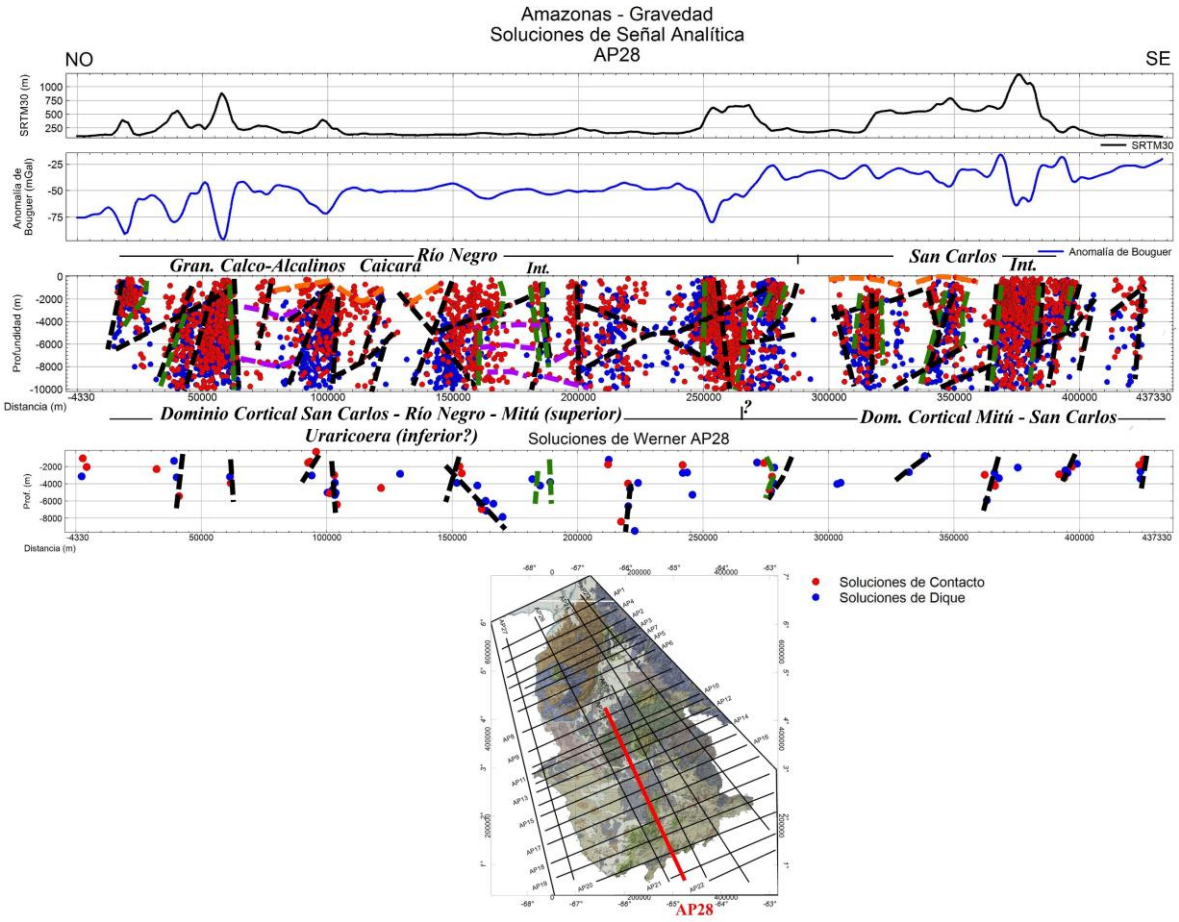


Figura 235. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en AP28 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones morados = cambios sub-horizontales.

SOLUCIONES DE PERFIL - PROVINCIA RORAIMA

Un total de 18 perfiles fueron calculados a partir de la técnica de señal analítica y deconvolución de Werner para la región que comprende a la provincia de Roraima, cuya ubicación de cada uno de ellos se observa en la Figura 236.

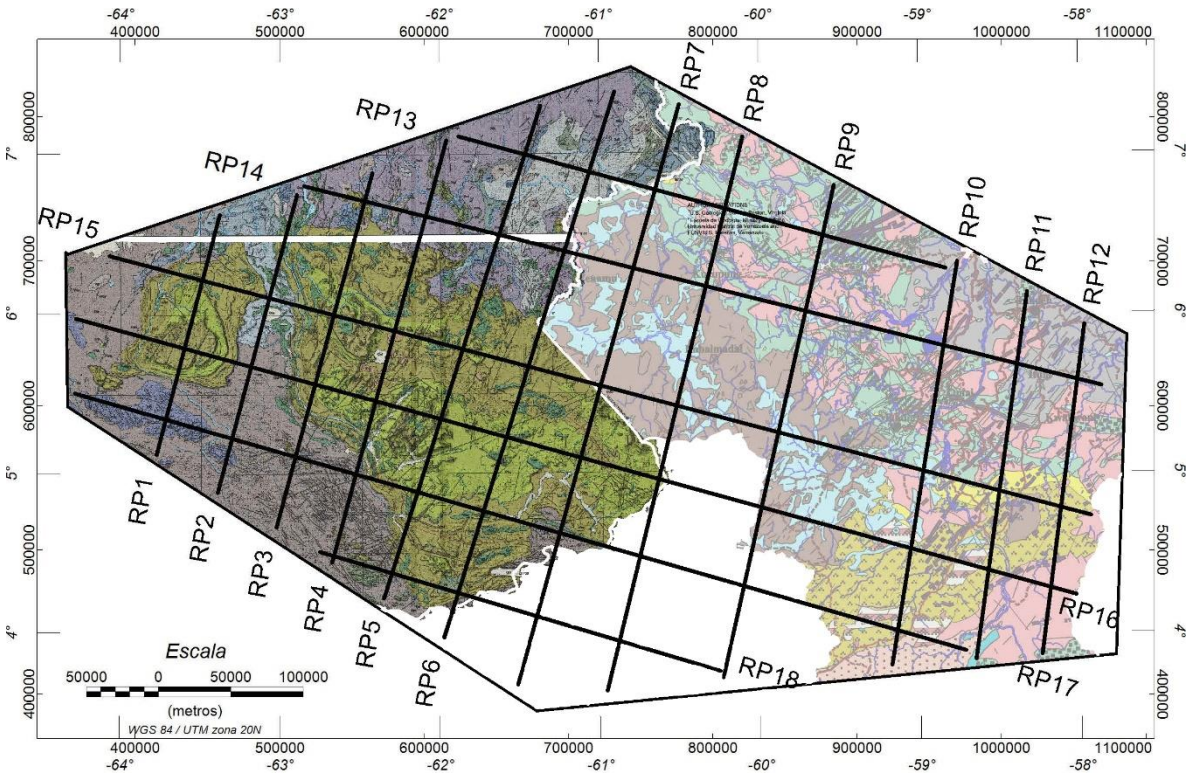


Figura 236. Mapa de ubicación de los perfiles trazados para la provincia de Roraima, sobre el mapa geológico de Hackley *et al*. (2005) para Venezuela y de Cole & Heesterman (2001) para Guyana.

El perfil RP1 (Roraima Perfil N°1 –

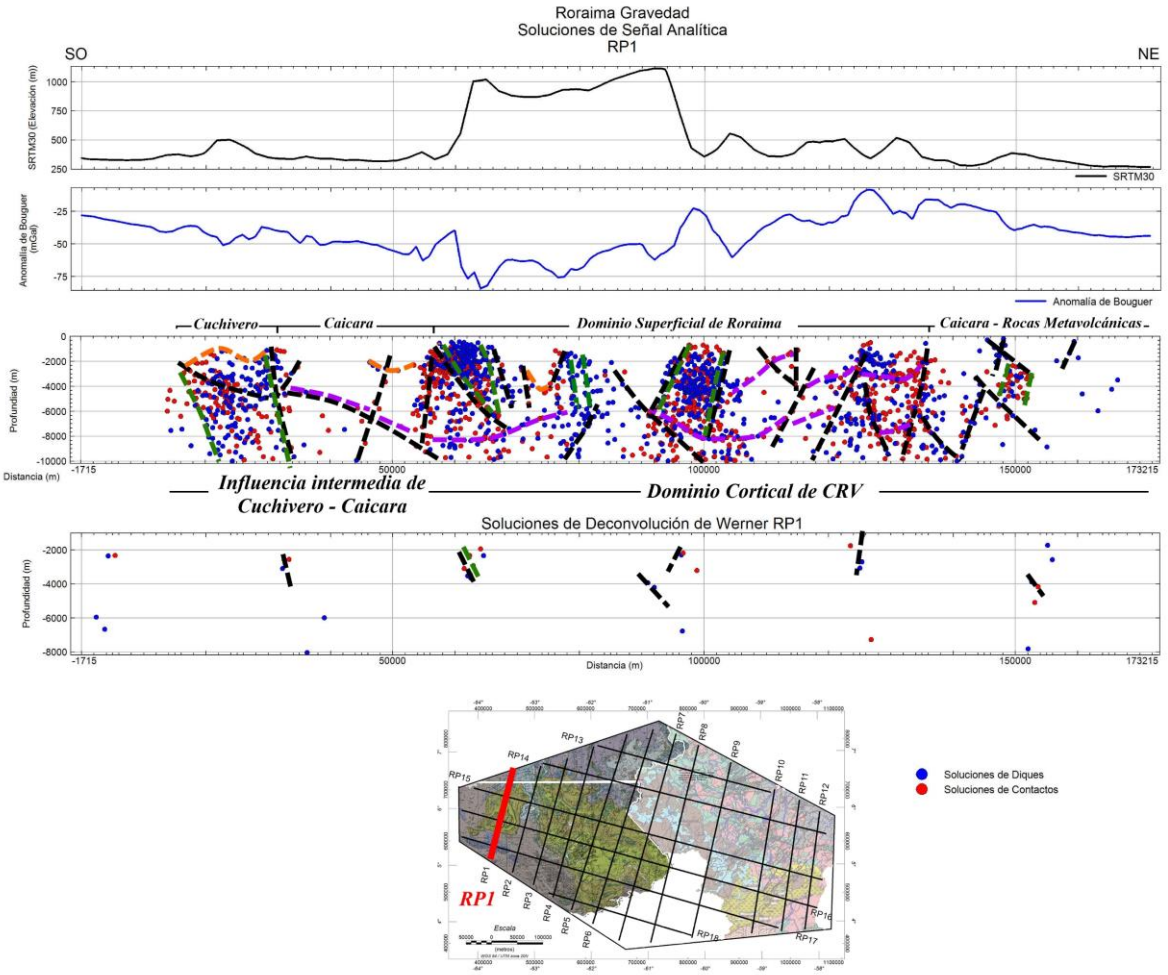


Figura 237) se encuentra ubicado hacia el oeste del bloque, y cruza una de las anomalías producto de intrusiones en zonas relativamente positivas, es decir, que se encontraban en los horst o en los flancos de los grábenes. Esto se observa entre los 50.000 m y 100.000 m del perfil aproximadamente, donde la anomalía de Bouguer también se encuentra influenciada por el espesor sedimentario que sobreyace. Las soluciones en general representan fallas de los sistemas de graben que cortan al perfil de manera oblicua, y algunas interfases que representarían una idea de cómo se encuentran dispuestos los cambios sub-horizontales de composición internos a los CRV. La zona de mayor somerización de los CRV sugiere ser hacia el noreste. Si se comparan los valores de anomalía de Bouguer respecto a los dominios composicionales descritos en la parte superior del cuadro de soluciones de señal analítica, se observa que Caicara y rocas

metavolcánicas tienden a incrementar el valor de la anomalía. La tendencia regional entre 50.000 m y 140.000 m aproximadamente es producto de flexura por carga litostática, pero las anomalías residuales de longitud de onda corta obedecen a alteraciones composicionales por debajo de Roraima que ocurren por intrusión. La mayor concentración de soluciones se encuentra en sistemas de fallamiento intenso e intrusiones más recientes, pero estos sistemas a su vez se formaron las fracturas generadas por el/los intrusivo(s) previo(s). Incluso las interfases para los CRV tienden a "abombarse" en el centro de este sistema.

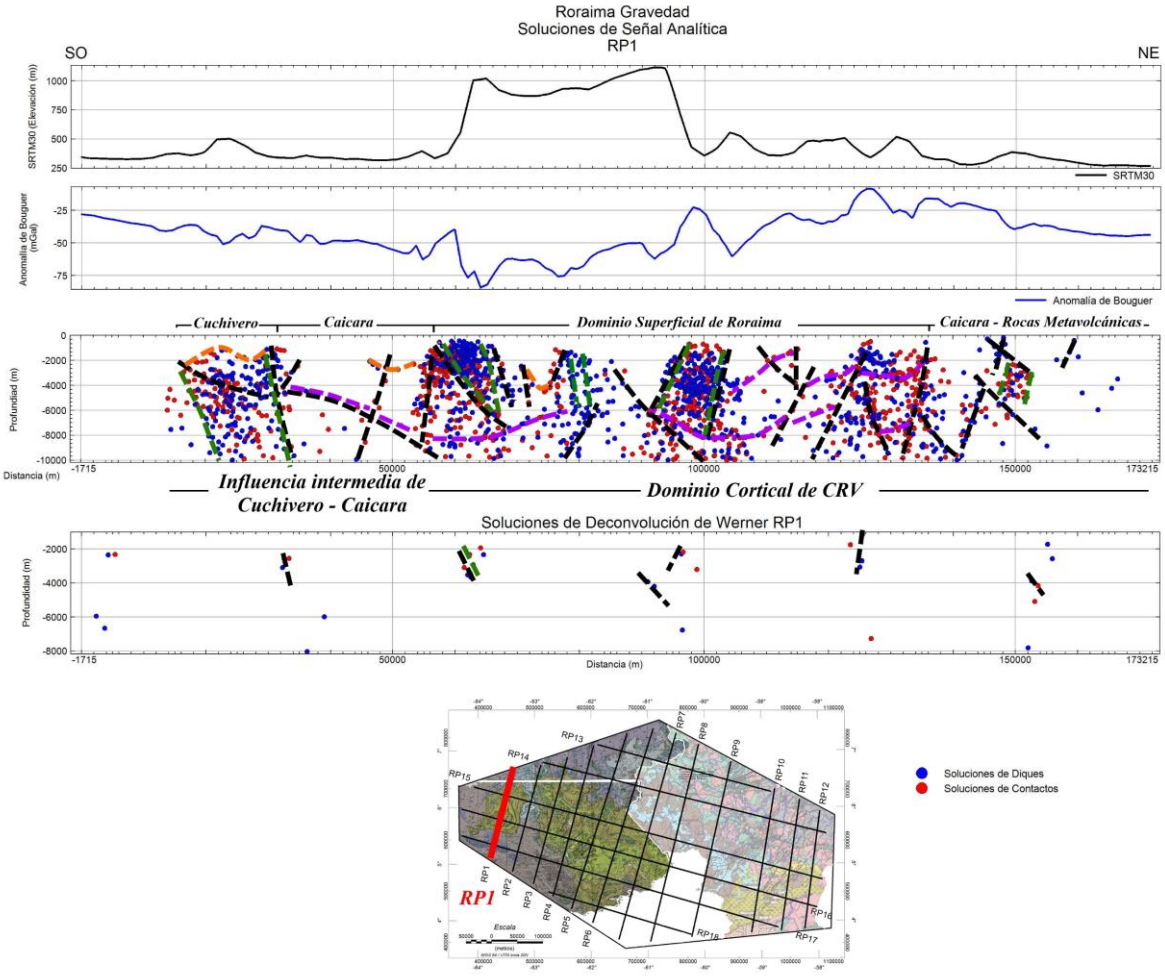


Figura 237. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP1 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

Por el contrario, el perfil RP2 se ubica prácticamente a lo largo del graben principal del sector, y por ello, la anomalía de Bouguer exhibe una tendencia regional con valores bajos hacia el sur y relativamente más altos hacia el norte donde los CRV se hacen más someros.

Es de acotar que este graben, aparentemente se formó por el quiebre del conjunto de altos o zonas positivas en la cadena que conformaba posiblemente una especie de arco compuesto de CRV.

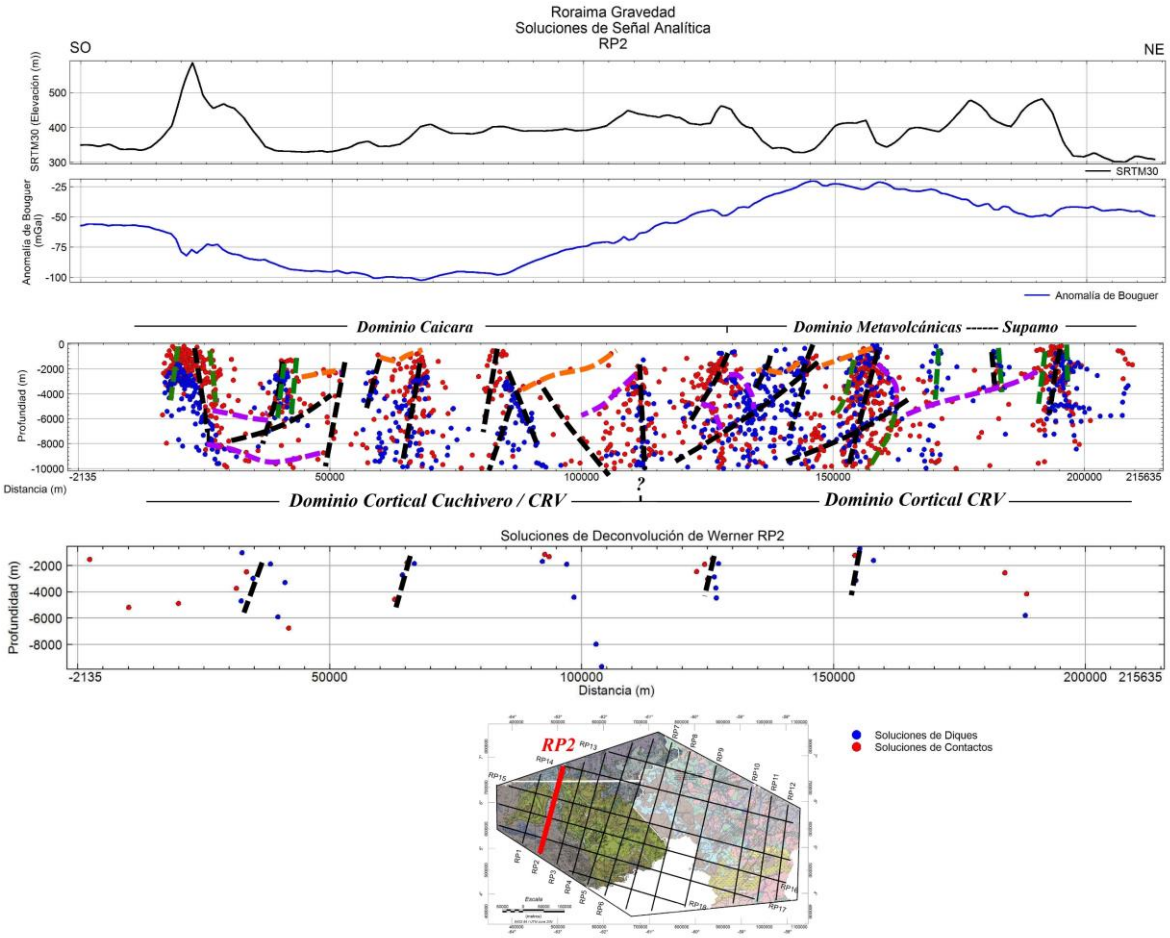


Figura 238. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP2 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

En general, la zona se divide en su aspecto cortical intermedio-profundo en dos sectores, cuya frontera entre ellos no es clara, pero donde las tendencias de anomalías y la cantidad de soluciones difieren. Hacia la izquierda o SO del perfil, corteza compuesta por Caicara, Cuchivero y CRV en orden de superficial a profundo, y hacia la derecha o NE del perfil, rocas metavolcánicas, Supamo y CRV en el mismo orden. En general la diferencia principal entre ambos sectores en términos composicionales es que, en superficie, las rocas volcánicas hacia el norte presentan mayor metamorfísmo, y términos estructurales, los

CRV se encuentran a niveles superiores en el norte y en niveles intermedios hacia el sur. Es precisamente por esto último la tendencia regional de la anomalía de Bouguer. Además, el sistema de fallas sugiere que esta sección del Escudo constituía el flanco norte del sistema de rift que abrió el mar de Pastora, la sección que probablemente se encontraba próxima o pegada a Imataca. Numerosas fallas de relevancia cortan los bloques con movimiento transcurrente, pero las más regionales obedecen a este sistema inicial de apertura, que principalmente se evidencia en corteza intermedia.

El perfil RP3 muestra de mejor manera el desarrollo del graben que corre en dirección NNO-SSE (Figura 239). El perfil, similar al anterior, se divide en dos secciones tanto en términos profundos como someros: en lo profundo, se tiene el cambio de dominio donde los CRV se encuentran más superficiales hacia el este y más profundos hacia el oeste, y, por ende, se infiere quizás que Cuchivero debería presentar mayor espesor y desarrollo que su contraparte Supamo. Incluso, el desarrollo de las secciones volcánicas se desarrolla de mejor manera hacia el oeste que hacia el este, observado en la diferencia de cobertura entre Caicara y las rocas meta-volcánicas que se ubican más al noreste. A su vez, se delimitan algunos cambios producto de alteraciones probablemente termales. Al los mismos atravesar prácticamente la sección entera, se infieren que obedecen a los sistemas intrusivos primarios, como Cuchivero o Supamo. Pero también se presenta la influencia de eventos posteriores como Avanavero, pero que representan alteraciones y cambios de composición de mucho menor envergadura. Las interfases de color naranja no necesariamente representan el mismo contraste, al igual que las moradas. Ellas identifican que allí se observan contrastes de densidad, independientemente de si son continuos o no. Es probable que el espesor de Caicara no sobrepase los 2 km, y que en los lugares donde interfases naranjas se encuentran más allá de los 2 km de profundidad, son producto de la carga litostática de Roraima. Existen dos posibilidades para estos contactos: a) contraste entre sedimentos pre-Roraima y volcánicas/intrusivos y/o CRV, y b) contrastes entre rocas volcánicas/intrusivas y CRV. Debido a la caída del valor de gravedad correlativo a la topografía y a la disposición de los espesores sedimentarios aproximadamente, se podría inferir que es más probable que tales contactos sean producto de la opción “a)” desde los 100.000 m del perfil hacia el noreste, y la opción “b)” desde la misma locación hacia el suroeste.

En los 150.000 m de perfil aproximadamente, éste cruza por una de las anomalías que podrían constituir intrusivos en una zona que anteriormente correspondía a un alto estructural. El cambio de composición y zona de alteración son observados y delimitados, pero la naturaleza del mismo es desconocida.

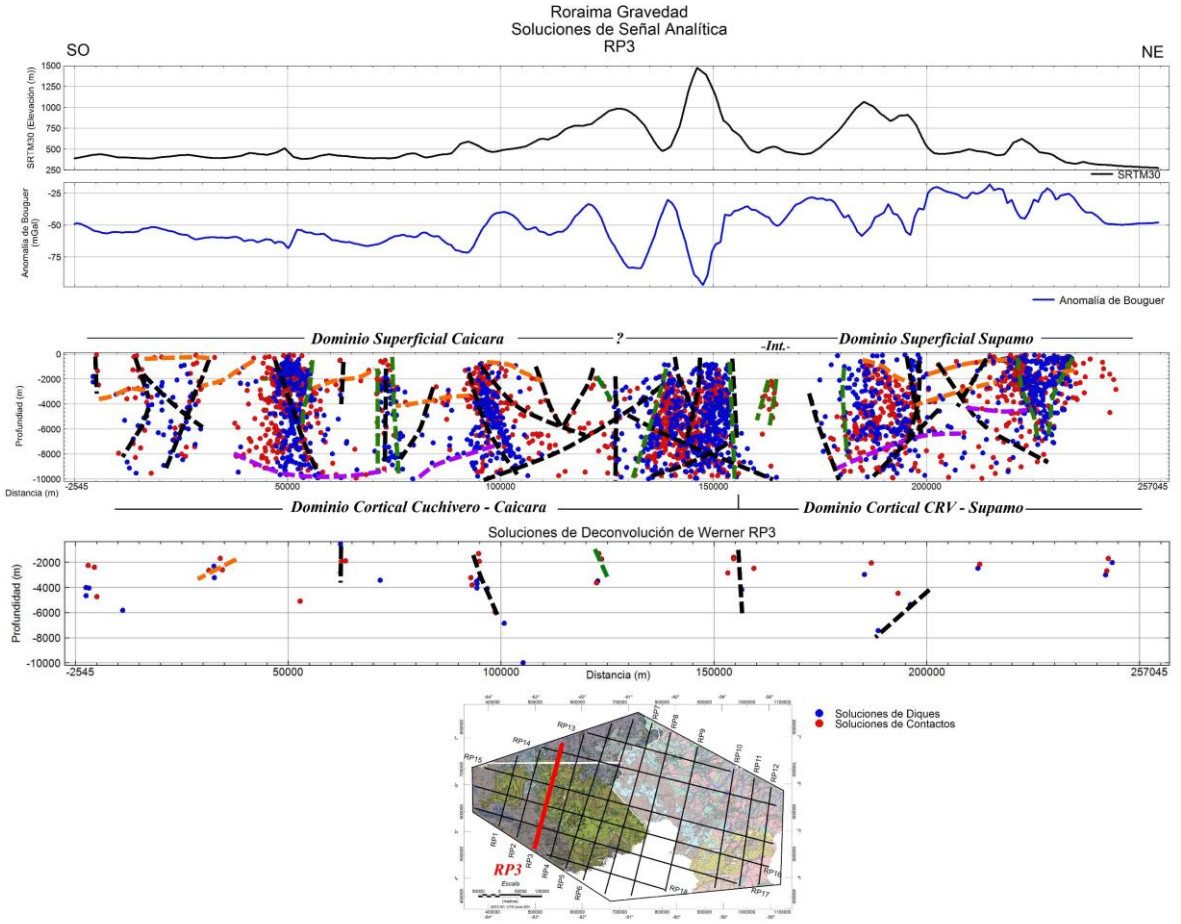


Figura 239. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP3 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

En el perfil RP4 (Figura 240), la interfase naranja representa contrastes similares a los descritos para el perfil anterior RP3. De acuerdo a su ubicación, el mismo corre al oeste, muy cerca, de la tercera anomalía observada que podría corresponder a intrusivos en un alto estructural alrededor de los 120.000 m, es decir, esta estructura presenta continuidad, a pesar de que su composición no es homogénea. Otra manera de expresarlo, al comparar con los mapas interpretados de gravedad, es que existía un alto estructural orientado aproximadamente E-O, pero el mismo es dividido hacia el este por fallamiento, y este perfil

se ubica donde el aparente quiebre inicia. En la caída del valor de gravedad en este alto estructural contribuye tanto los sedimentos como las intrusiones de Cuchivero, y Avanavero en mucha menor medida.

En general, el sistema estructural es similar, un conjunto de fallas normales iniciales del sistema de rift que permitió la formación de los CRV, por debajo de sistemas de horst y graben, con algunas zonas de alteración por intrusiones y fallas de compensación de rumbo. A pesar de que muchas de las fallas tienden a aparecer como fallas normales, se puede observar que algunas de ellas presentan inversión, y que algunas de ellas son directamente inversas. Esto ocurre sobre todo hacia el suroeste, mientras los perfiles se acercan a la zona de colisión. Hacia el noreste, las fallas tienden a ser de rumbo, ya que los contrastes se dan, aparentemente, en el plano horizontal mayoritariamente. Es importante mencionar que en estos perfiles no se logra apreciar si las intrusiones dominan algunos sistemas de falla o viceversa. Los contrastes verticales (marcados con guiones verdes) no necesariamente indican que existan intrusivos en esa zona particular, sino zonas de alteración y cambios verticalizados que delimitan bloques de mayor tamaño. Por ejemplo, se contrasta la respuesta que suelen tener las fallas, un conjunto de puntos alineados con poca acumulación de más soluciones en la horizontal, con respecto a intrusiones y cambios relevantes de bloques composicionales, ya sea por cambio de composición en sí o por metamorfismo, regional o de contacto, como un cúmulo de soluciones que, al ampliar el perfil (reducir la relación de aspecto entre los ejes disminuyendo la escala del plano horizontal), se aprecia que los puntos no siguen un patrón estable, y que estructuras verticales suelen aparecer hacia los bordes.

Al comparar este perfil con los anteriores, también se aprecia que el nivel de carga litostática varía, ya que la interfase más somera (naranja) no siempre se encuentra a los mismos niveles de profundidad, pero en general, tiende a estar en los primeros 2 km de profundidad. Esto puede ser debido a la combinación de la compensación de las fallas de rumbo junto a la compresión sufrida por el sistema, donde algunas secciones se desplazaron más que otras en ambos planos durante el proceso de inversión.

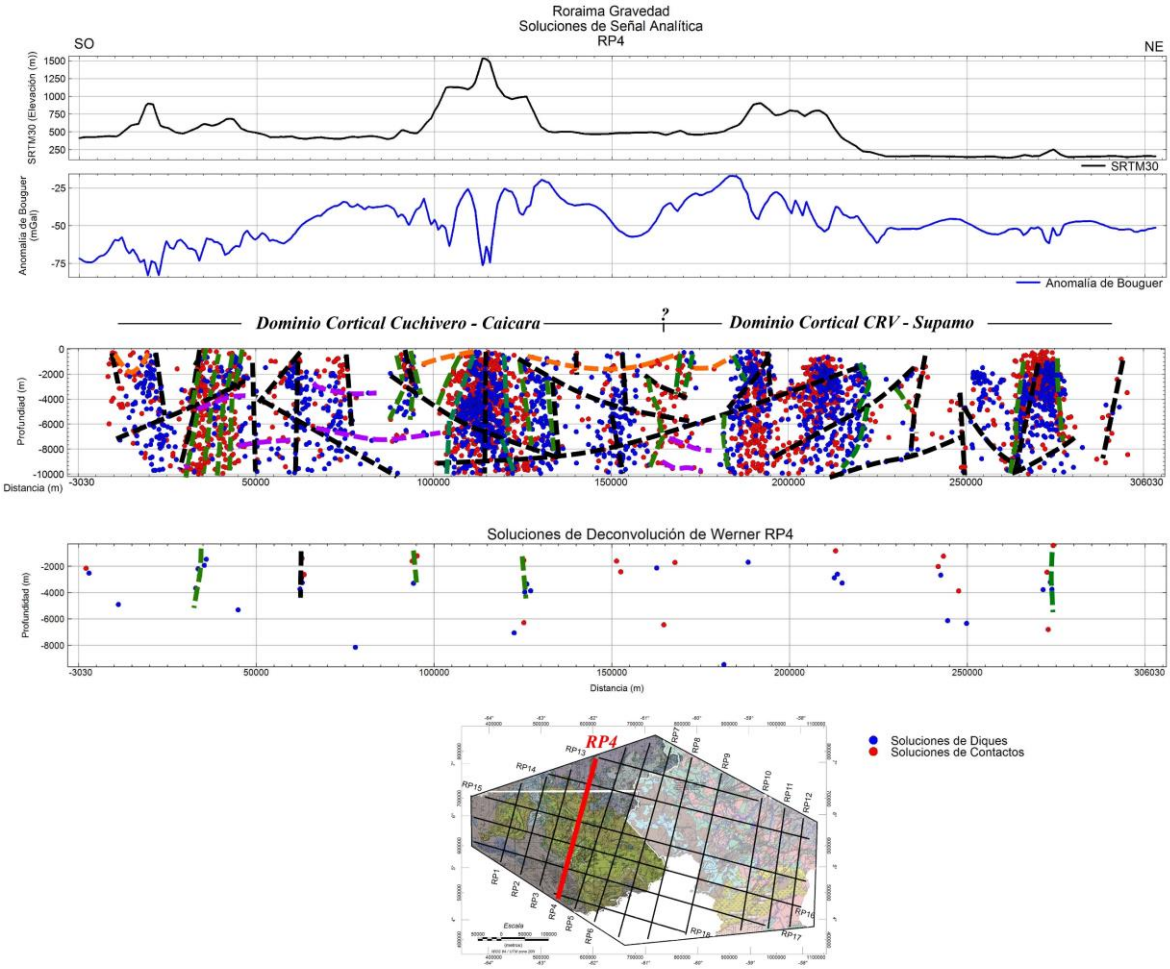


Figura 240. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP4 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

En RP5, hacia el noreste, las rocas metavolcánicas y/u otras rocas metamórficas como filitas y/o esquistos, representan lo sección más superficial del perfil, donde se resaltan posibles intrusivos de cuarzo-monzonitas. Estas rocas fueron cristalizadas y metamorfizadas directamente sobre los CRV, ya que, si se compara este perfil con el perfil anterior RP4, se nota que el patrón de soluciones hacia el norte es diferente. En RP4, los CRV llegan a aflorar hacia el noreste, pero se observa que Supamo parece tener un espesor promedio de unos 2 km (no se encuentra dibujada la interfase porque la misma se infiere con los vacíos que dejan los patrones de soluciones). A su vez, se observa que otro intrusivo de cuarzo-monzonita con repuestas similares a la del perfil RP5 se encuentran en esta sección de CRV que aflora. Por ende, las secciones norte de ambos perfiles

corresponden con otra banda de alto estructural de CRV. Esto es fácilmente discernible también si se observa el mapa de anomalía de Bouguer, se notará que tanto la influencia de estas rocas volcánicas superficiales como el alto estructural ocasionan el incremento del valor de la anomalía de Bouguer. Este alto y el otro que se encuentra más hacia el sur se encuentran separados por una cadena de anomalías mucho más bajas, principalmente donde se infieren intrusiones de Supamo y carga sedimentaria de Roraima. Por ende, corresponde a un sistema similar al observado en el sur, sin la formación de graben posterior, sino que conserva la estructura inicial de rift. Esto concuerda con el argumento presentado en este documento hasta el momento que, en general, propone que todo el estado Bolívar es una especie de sistemas de altos y bajos, con sistemas de ante-arco, arco y post-arco, y los vestigios del sistema inicial de rift (de oeste a este).

Hacia el extremo suroeste del perfil, se observan también otros intrusivos diferentes a Cuchivero, como granitos calco-alcalinos y Avanavero. En este caso se marcan dos cuerpos, pero por sus dimensiones, parecen ambos pertenecer a los granitos calco-alcalinos. No obstante, no se descarta que el ubicado un poco más al norte pueda corresponder a Avanavero, al menos parcialmente.

La parte central del perfil, entre 100.000 m y 270.000 m aproximadamente, la corteza superficial es una intercalación general entre CRV y rocas intrusivas. Es por ello que se denota la mayor parte de la sección como dominio cortical de CRV, porque todas estas intrusiones de algún modo tienen como roca caja a los CRV. Hacia el sur, que se denota como dominio cortical de Cuchivero-Caicara es debido al alcance del perfil y las soluciones que presenta, al no estar claro el límite cortical de Cuchivero en esta sección particular, simplemente se menciona que en la corteza superior el espesor de Cuchivero aumenta. Pero en general, parece que toda la corteza inferior e intermedia está compuesta de CRV, o al menos ellos son la roca caja, ya que tanto más hacia el sur o hacia el oeste, los CRV a niveles corticales profundos continúan apareciendo. Como se observa en el capítulo de Cuchivero, el espesor de esta roca intrusiva es determinable, solo que acá no se presentan soluciones aisladas que permitan hacer un estimado aproximado.

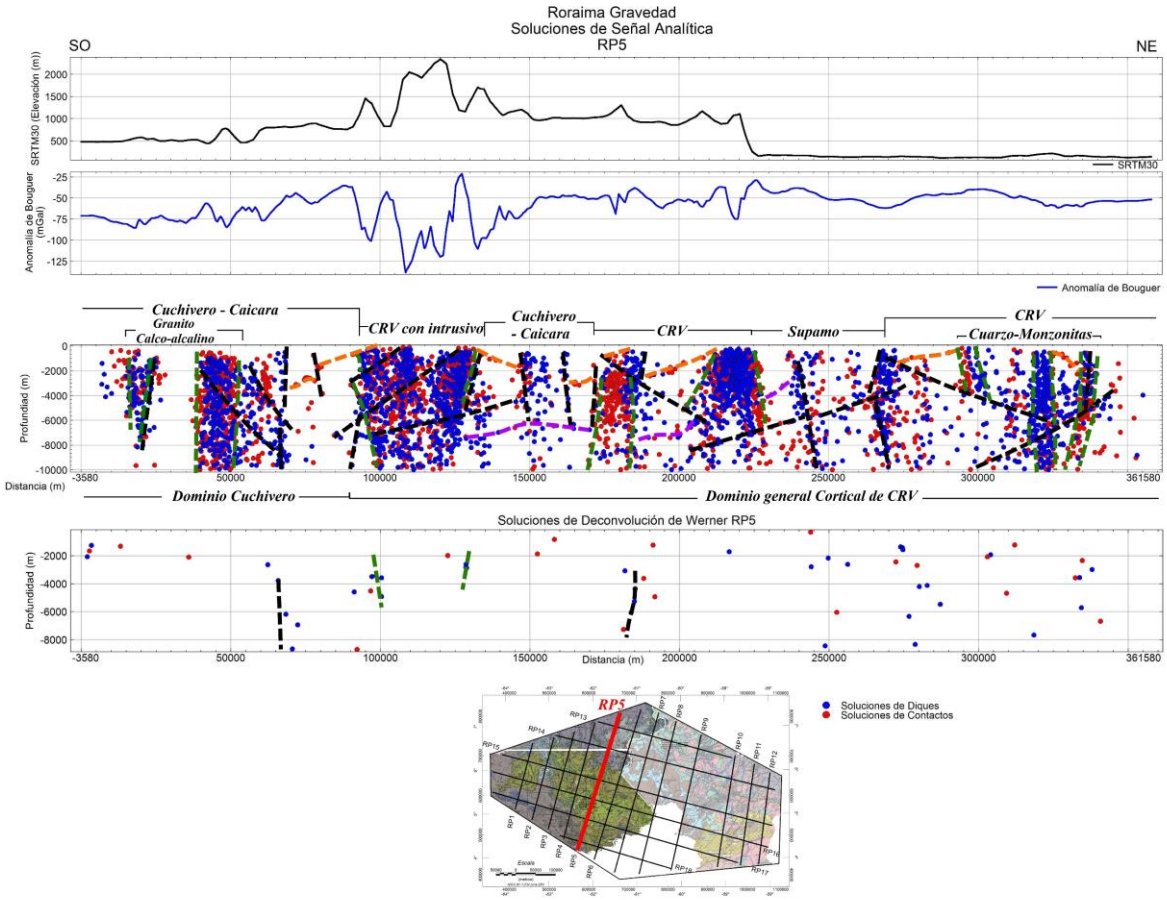


Figura 241. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP5 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

En RP6 (Figura 242), el cambio de dominio cortical es difícil de precisar. Sin embargo, parece estar ubicado hacia los 200.000 m del perfil, donde a través de la interpretación conjunta de los mapas geológicos, soluciones de deconvoluciones y, además, la interpretación de los sistemas estructurales en los mapas de filtrado tanto magnético como de gravedad, sugieren que es cerca de esta ubicación, por debajo de Roraima, donde ocurre el cambio entre dominio cortical superior de Cuchivero y dominio superior de Supamo. Esta diferencia de dominios la marca el gradiente entre un alto estructural hacia el noreste y un bajo estructural hacia el suroeste. Este cambio lo marca también una aparente falla de gran tamaño que corre con dirección NO-SE y que, más al sureste, se une con otra falla de similar envergadura que corre E-O. Esta última es la que particularmente marca la frontera superficial entre rocas del grupo Cuchivero-Caicara y rocas del CRV-Supamo hacia

Guyana y Surinam. La componente cinemática más evidente del sistema NO-SE es rumbo deslizante, ya que desplaza a una de las fallas E-O similar a la mencionada pero ubicada más al norte.

En el perfil se identifican a su vez soluciones causadas por diabasas de la asociación Avanavero ("Ava." y "Ava.?") y también un posible intrusivo que parece ser similar a los observados con las cuarzo-monzonitas ("Q-Monzo.?"). El dibujo de los guiones no sugiere que los intrusivos de Avanavero tengan esa morfología particular de dique, pero acota que por debajo de los mismos parece haber alteraciones.

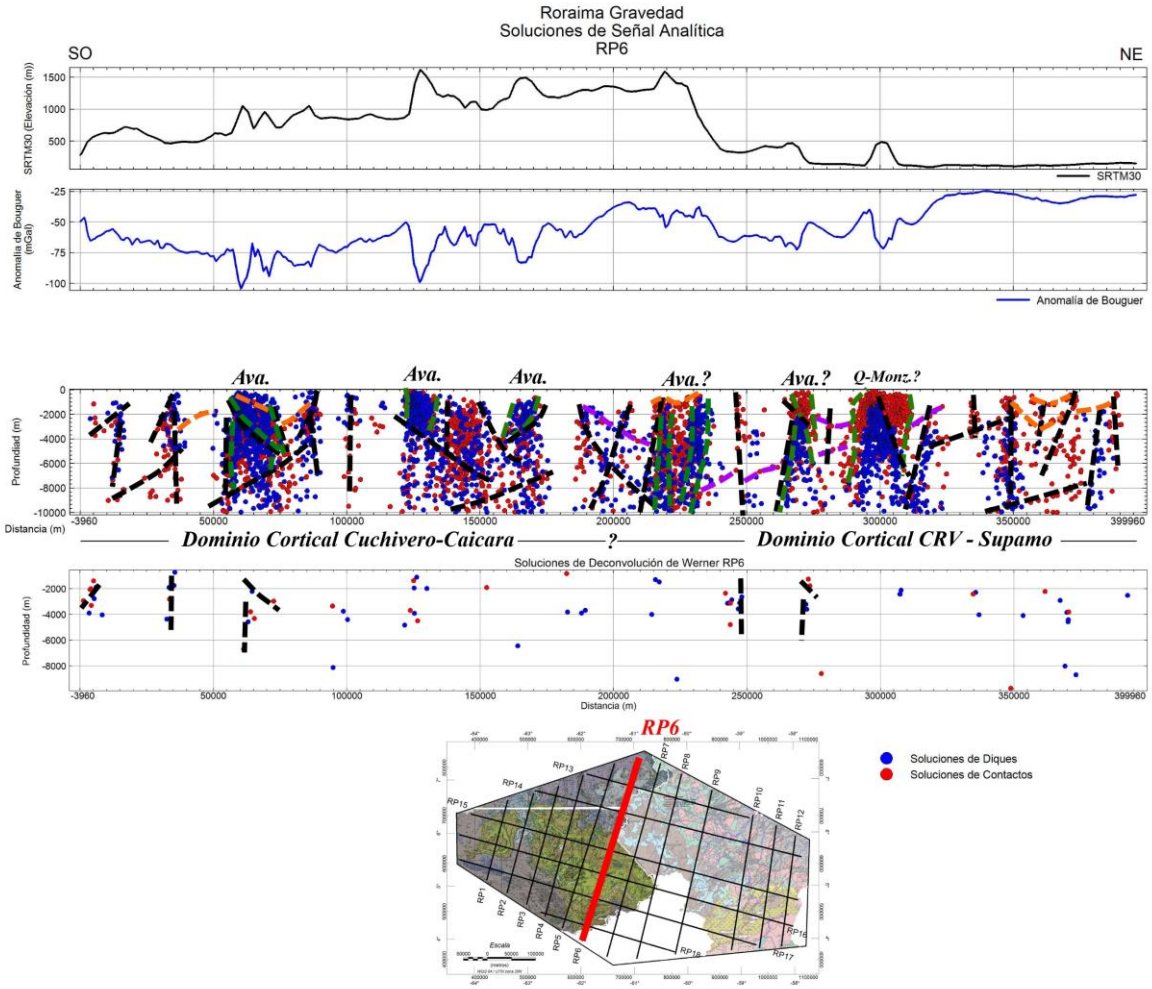


Figura 242. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP6 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

En el perfil sería atrevido trazar el contraste continuo entre rocas pre-Roraima e ígneas como Caicara, ya que los contrastes como se ha observado no son constantes, y a pesar de que a veces simulan ser líneas continuas, los mismos pueden ser diferentes contrastes, pero según los resultados obtenidos estaría en promedio a profundidades menores que 1-1,5 km. Es decir, la mayoría del espesor de las rocas que conforman al Supergrupo Roraima se encuentra en el relieve topográfico, producto del rebote isostático. No obstante, el efecto de los sedimentos en el valor de gravedad es relevante, sumando que esta zona presenta engrosamiento cortical y numerosos intrusivos masivos que decaen el valor de gravedad que los CRV representan.

Es de acotar a su vez, que cuando se hacen las separaciones de dominio cortical, es para establecer diferentes "bandas" composicionales y tectónicas. Ya que en general, la corteza intermedia y quizás inferior, debería estar compuesta de CRV o sus predecesoras.

RP7 es uno de los perfiles fundamentales que permiten comprender de cierta manera lo que ocurre por debajo de Roraima, ya que atraviesa una de sus secciones más largas, y a su vez, aquellas localidades donde ésta podría representar un mayor espesor. Iniciando por el suroeste del perfil, desde los 50.000 m – 70.000 m del perfil hacia menores se comienza a observar la influencia tectónica del corrimiento que permitió el cabalgamiento de una sección del cinturón de alto grado de Kanukú. No es muy claro si este bloque se extiende más hacia norte a niveles corticales más profundos, pero parece poco probable debido al modelo evolutivo propuesto, donde la losa de subducción final en esta sección particular tiende a marcarla Cuchivero. En superficie, a lo largo de todo el perfil, se han marcado varias interfases que van apareciendo con soluciones de contacto alineadas casi horizontalmente, con algunos plegamientos. Dependiendo del dominio superficial, estas interfases corresponden probablemente a Cuchivero/Caicara, pre-Roraima/Caicara-Cuchivero, y las más someras quizás entre Roraima/pre-Roraima. Varios cambios composicionales y zonas de alteración semi-verticales también ocurren, pero todas ellas parecen ser internas a los CRV. No se descarta que estas hayan sido zonas de debilidad por donde flujos de magma ascendieron alterando la roca caja. Algunos de mucho menor tamaño ocurren donde se reporta el afloramiento de Avanavero, sobre todo donde el mapa indica una extensión superficial mayor.

Por debajo de Roraima, cruzan numerosas fallas de rumbo, normales e inversas, como se observa en los mapas interpretados, pero los sistemas dominantes son el normal primario de la etapa de rift ahora parcialmente invertidos, los sistemas transcurrentes pseudo-paralelos a Guri, los sistemas rumbo-deslizantes de compensación, sistemas de corrimiento y retro-corrimiento, y fallas normales por el colapso de algunos de estos sistemas inversos. Hacia el norte, la información es vaga, pero se logra observar la influencia del sistema de fallas Marwani, algunos cambios de composición relativamente verticalizados indicando algunas zonas de alteración o diferentes bloques dentro del sistema CRV. Alrededor de los 350.000 m del perfil se logra dibujar un sistema aparentemente de corrimiento.

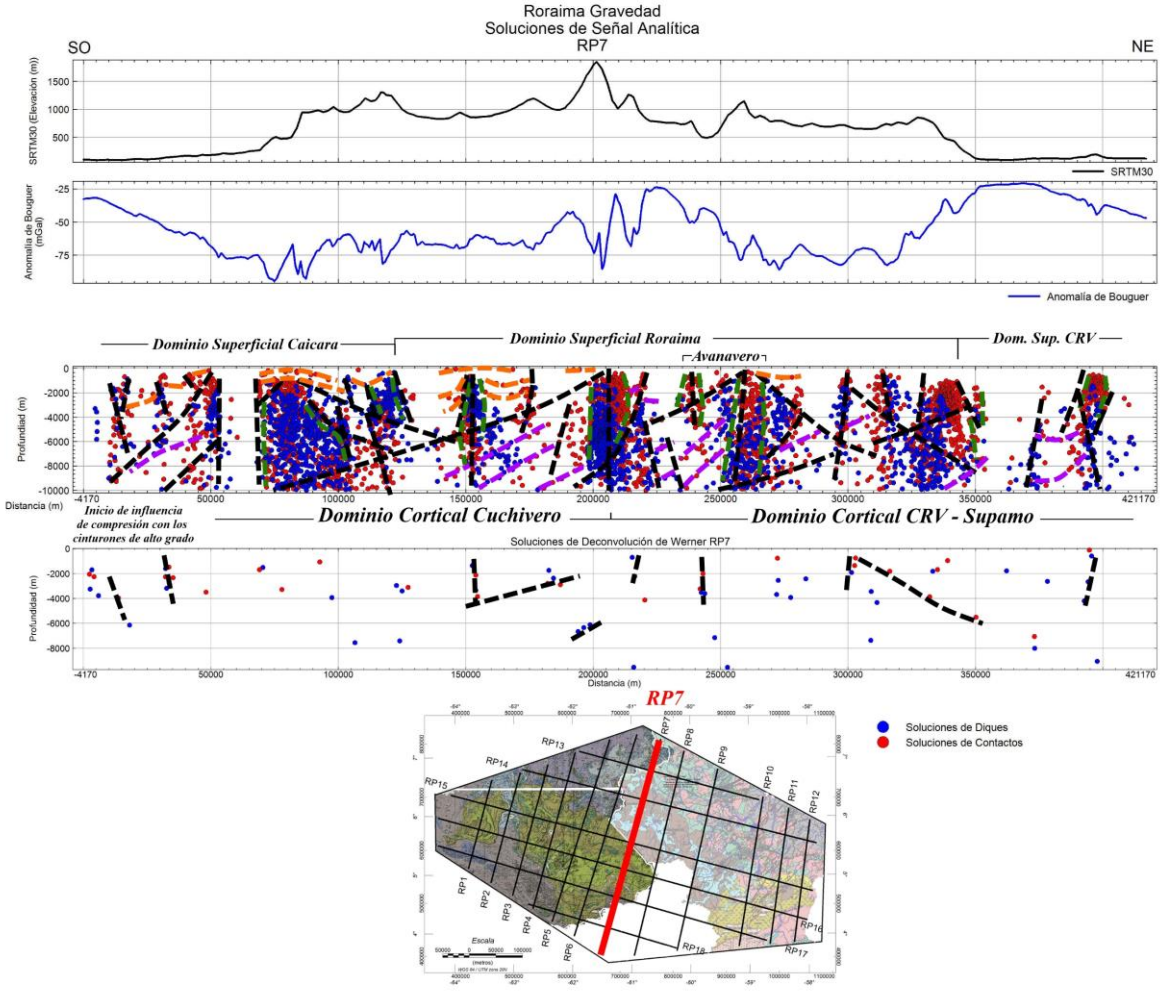


Figura 243. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP7 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

RP8 es un perfil que a niveles corticales superiores-intermedios cambia de dominio acorde a un cambio de valores medios de anomalía de Bouguer aproximadamente por los 220.000 m del perfil. Hacia el noreste de esta locación la composición de la corteza es CRV y Supamo, mientras que hacia el suroeste es CRV, Cuchivero y Caicara. Este perfil, además, se encuentra ubicado fuera de Venezuela atravesando, de sur a norte, parte del territorio de Brasil y posteriormente de Guyana. Hacia el comienzo del perfil en el SO, se hace evidente el corrimiento que coloca al cinturón de alto grado Kanukú sobre rocas como Cuchivero y Caicara.

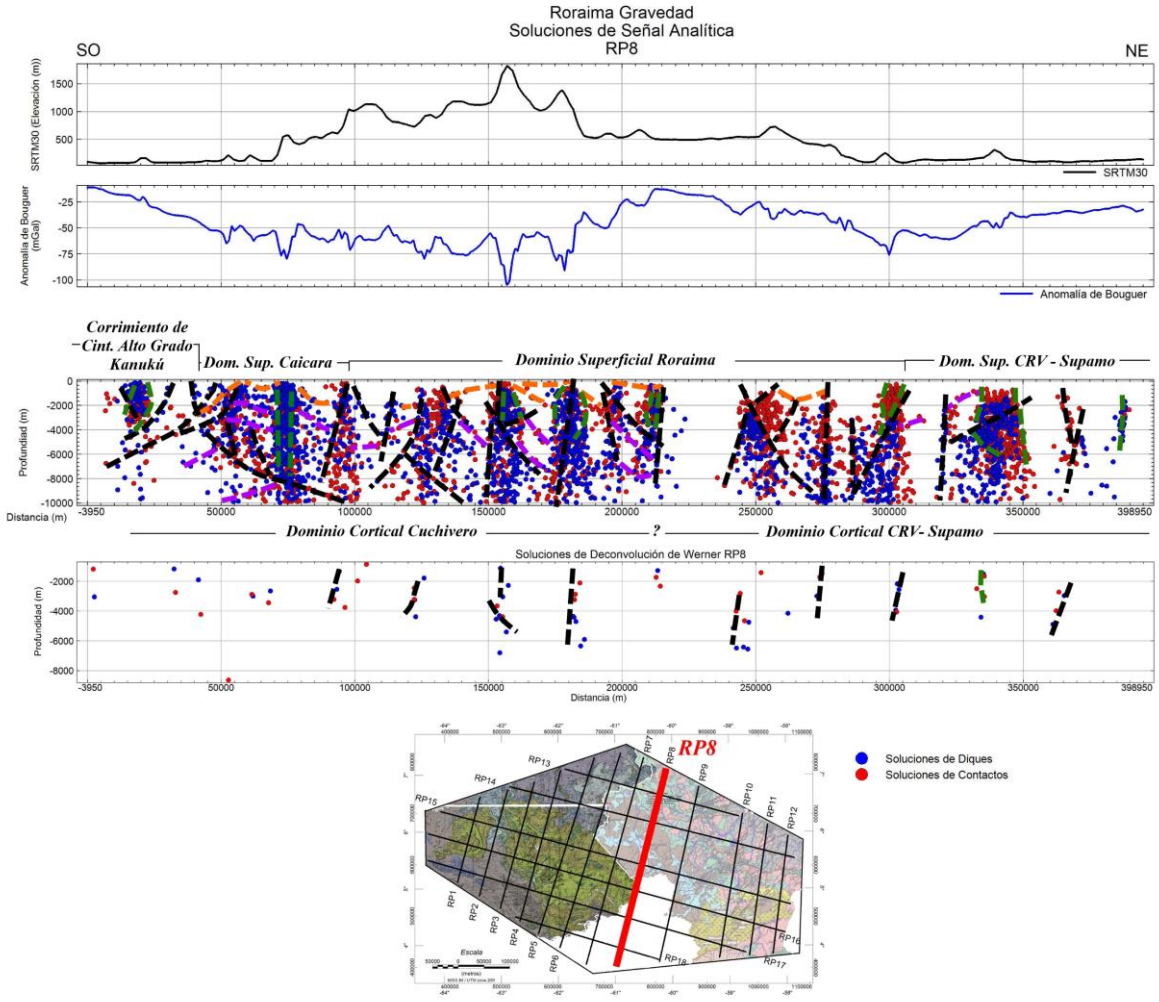


Figura 244. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP8 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

Otras interfases relativamente profundas se observan en color morado que pueden obedecer a variaciones internas en los CRV. La caída principal del valor de gravedad entre 50.000 m y 220.000 m se debe en parte a la influencia de las rocas sedimentarias, pero en mayor medida al engrosamiento de la corteza y a la abrumadora cantidad de intrusión de Cuchivero, que difiere notablemente con el impacto que tuvo Supamo hacia el noreste.

En el perfil RP9 (Figura 245) el sistema estructural es similar al anterior, donde se caracterizan por aumentar aparentemente el buzamiento general de las fallas. En este perfil en particular, donde se observa una interfase continua superficial de contraste inferido como Caicara/Cuchivero (no necesariamente la misma combinación en toda la sección), alcanzando como máximo unos 1,5-2 km de profundidad. Esto se observa entre 30.000 m y 100.000 m aproximadamente, ya que, a partir de esta última ubicación, inicia el dominio superficial de Roraima, en la cual la interfase de contraste más representativo parece ubicarse por arriba de los 0 m de elevación; entre el mismo intervalo, es de acotar que las soluciones indican que esta sección es un alto estructural de CRV. En el centro del dominio Roraima, en los 150.000 m del perfil, destaca un intrusivo de gran tamaño que hace caer el valor de gravedad. Se infiere que este podría estar compuesto de Cuchivero. La separación entre los dominios superficiales de Roraima y los CRV ocurre a través de una falla rumbo-deslizante orientada NO-SE, que incluso llega a descuadrar la tendencia que presenta el alto estructural de esta parte. Algunos de los contrastes de composición verticales están relacionados con la asociación Avanavero y otros sistemas de diques en Guyana, pero su discernimiento es complicado ya que en la mayoría de las ocasiones parecen coincidir con la ubicación de fallas.

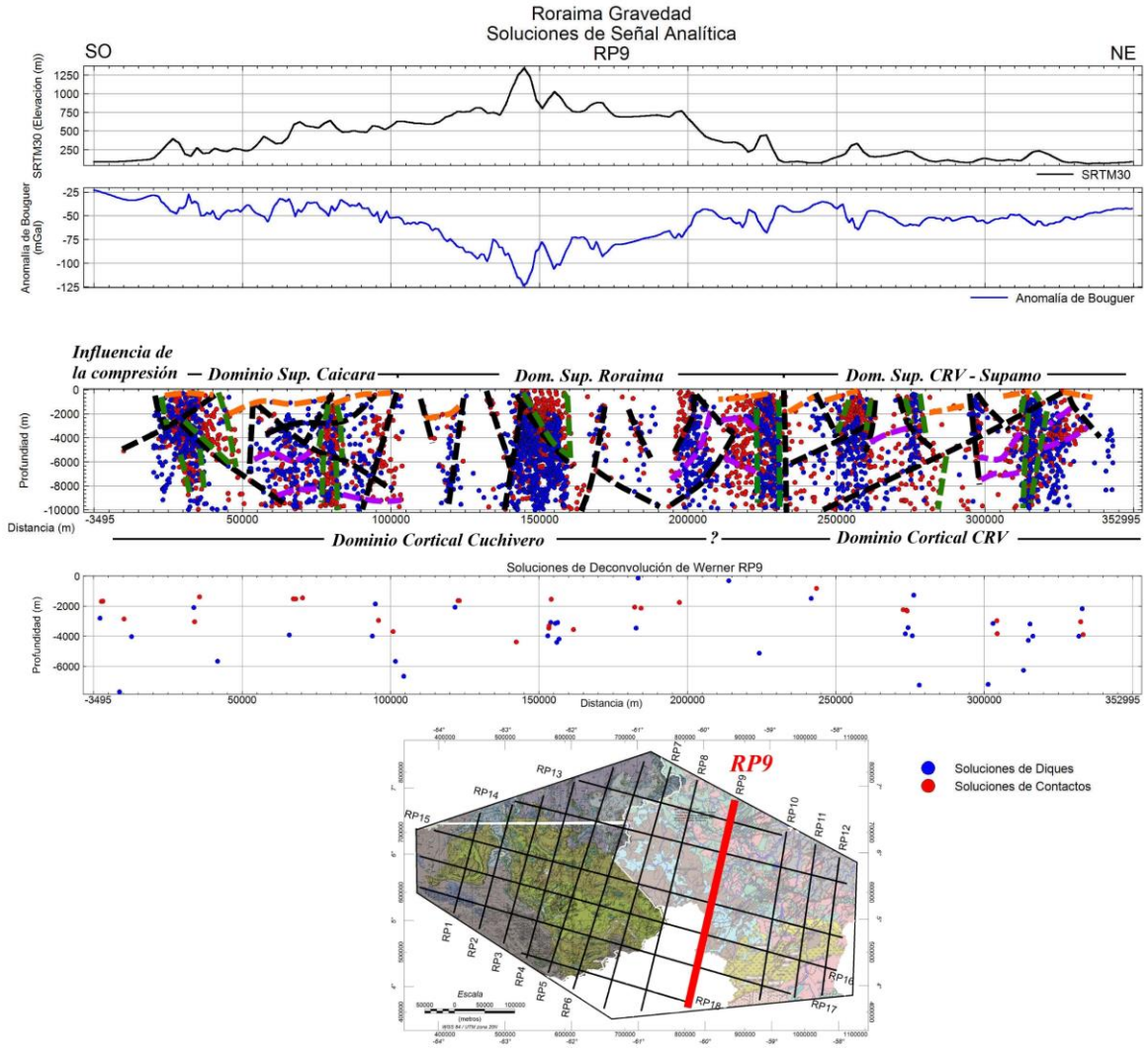


Figura 245. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP9 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

El perfil RP10 (Figura 246) ya no atraviesa litología de Roraima, pero es importante presentar la continuación de los sistemas hacia el este, sobre todo para describir la interacción entre la provincia de Pastora y la provincia de Cuchivero. Al estar el perfil enteramente en territorio guyanés, las interpretaciones se basan en el mapa geológico de este país junto con el integrado de Kroonenberg *et al.* (2016). Las descripciones litológicas no permiten describir más allá de la separación entre las provincias y de cuerpos intrusivos y zonas de alteración que aparecen, sobre todo aquellas asociadas a Avanavero y otros diques. No obstante, hacia 150.000 m existe aparentemente una zona de alteración producto

de intrusiones. La roca caja, de lo que indica la anomalía de Bouguer, podría ser un alto estructural. En general, todo el perfil corre sobre una alineación de anomalías de mayor magnitud, a la que se venía observando para latitudes similares en otros perfiles. Esto debido a sistemas de fallas que exhuman de cierta manera rocas más densas, junto a la presencia de rocas volcánicas como Caicara que tienden a aumentar el valor de gravedad. Hacia el noreste, la gravedad disminuye, lo que delimita al dominio superior e intermedio de CRV-Supamo. La caída de la gravedad se debe en gran medida a la presencia de rocas intrusivas como Supamo que tienen a disminuir el valor de gravedad al contrastar con rocas aparentemente más densas y variables de los CRV. La variabilidad de los CRV se estima que es producto del metamorfismo principalmente.

La diferencia entre dominios corticales es apreciable incluso en la cantidad de cúmulos de soluciones que presentan las secciones, hacia el noreste, se observa que en el perfil las soluciones son más dispersas y de menor intensidad, mientras que, desde los 150.000 m del perfil hacia el suroeste, la cantidad de soluciones aumenta abrumadoramente, con mayor cantidad de enjambres de soluciones. Estas zonas de alto contraste suelen coincidir con la combinación gravedad baja / topografía positiva. Si bien la topografía influye considerablemente los valores de gravedad de los modelos combinados, al realizar la reducción a anomalía, estas influencias tienden a disminuir, aunado a que la reducción se calculó a 0 m como nivel de referencia. Por tanto, estos descensos de gravedad se deben a algo más que solo elevación, considerando además que estas anomalías particulares suelen estar rodeadas o atravesadas por sistemas de falla. Los cúmulos de soluciones de contacto principalmente sugieren allí zonas de alteración probablemente tanto por intrusiones como por metamorfismo regional. Lamentablemente el mapa geológico muestra solo afloramientos de Caicara, Cuchivero y Supamo, además de los CRV más al noreste. Por ende, es muy difícil establecer a qué evento termal pueden estar asociadas estas anomalías.

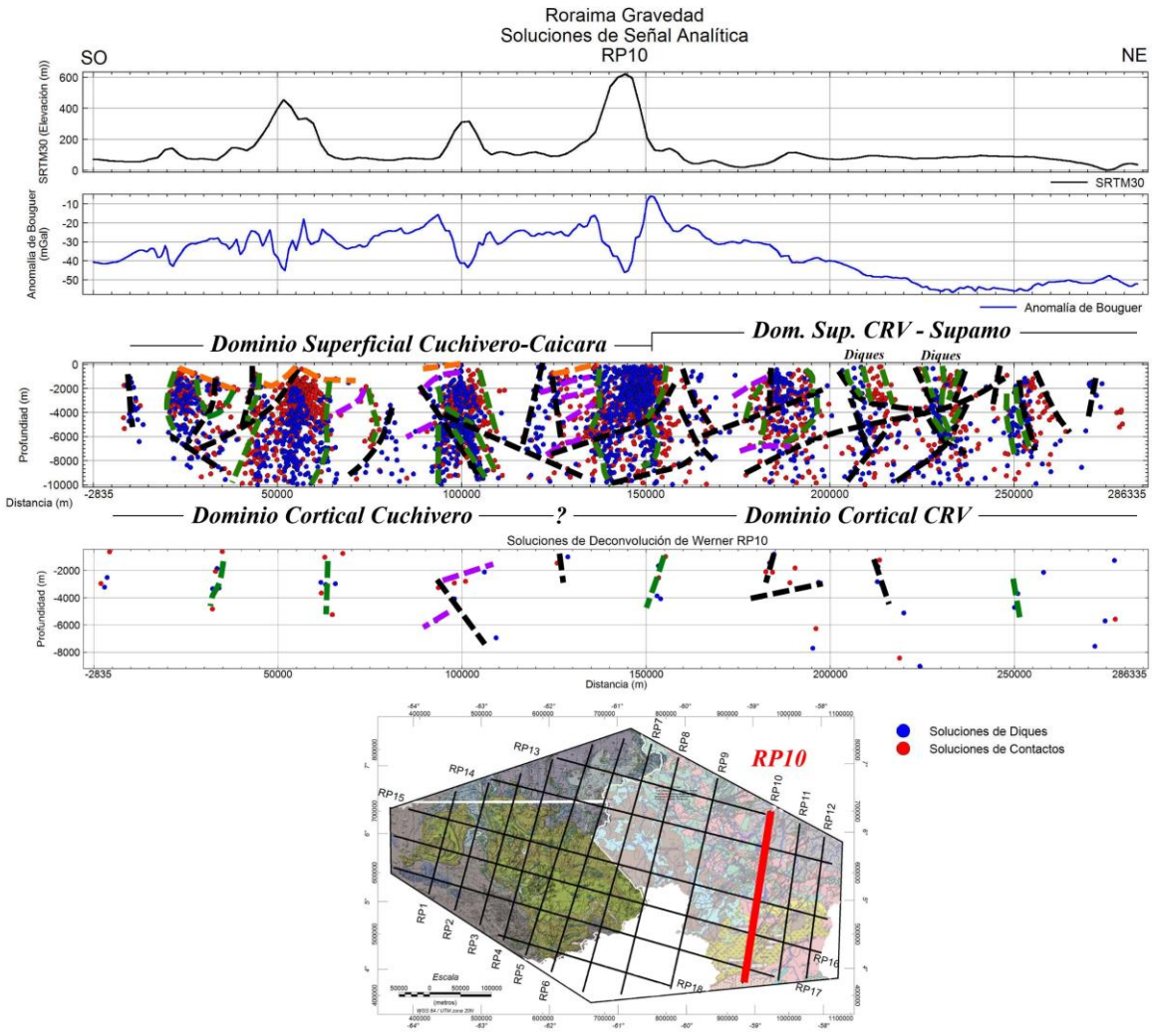


Figura 246. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP10 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

En RP11 (Figura 247) es difícil delimitar a nivel cortical el cambio de dominio entre Pastora y Cuchivero. Es por ello que se decide adoptar como a los CRV el componente principal en profundidad. En términos generales, la anomalía de Bouguer, en su expresión regional, sugiere que el límite es el cruce aproximado de los -30 mGal, pero los sistemas estructurales notados no permiten afirmar ello. Por otra parte, esta misma curva expresa en términos más abstractos la disposición de las interfases corticales más profundas, como Conrad y Mohorovicic, donde se observa que el valor de gravedad aumenta a medida que

se acerca el perfil hacia la costa atlántica, hacia corteza transicional, y disminuye al internarse en corteza continental.

Si bien es cierto que este fenómeno ocurre también hacia el suroeste, la diferencia yace en que hacia este sector existen rocas más densas, volcánicas, con un sistema compresivo que también más hacia el sur, coloca en cabalgamiento el cinturón de alto grado metamórfico de Kanukú. A su vez, si se comparan los valores medios de anomalía entre este perfil y los anteriores, así como también se puede notar en el mapa de anomalías, el valor de la misma crece en magnitud hacia el este, producto de interfases intracorticales más someras, o lo que es lo mismo, el manto ubicado a menor profundidad.

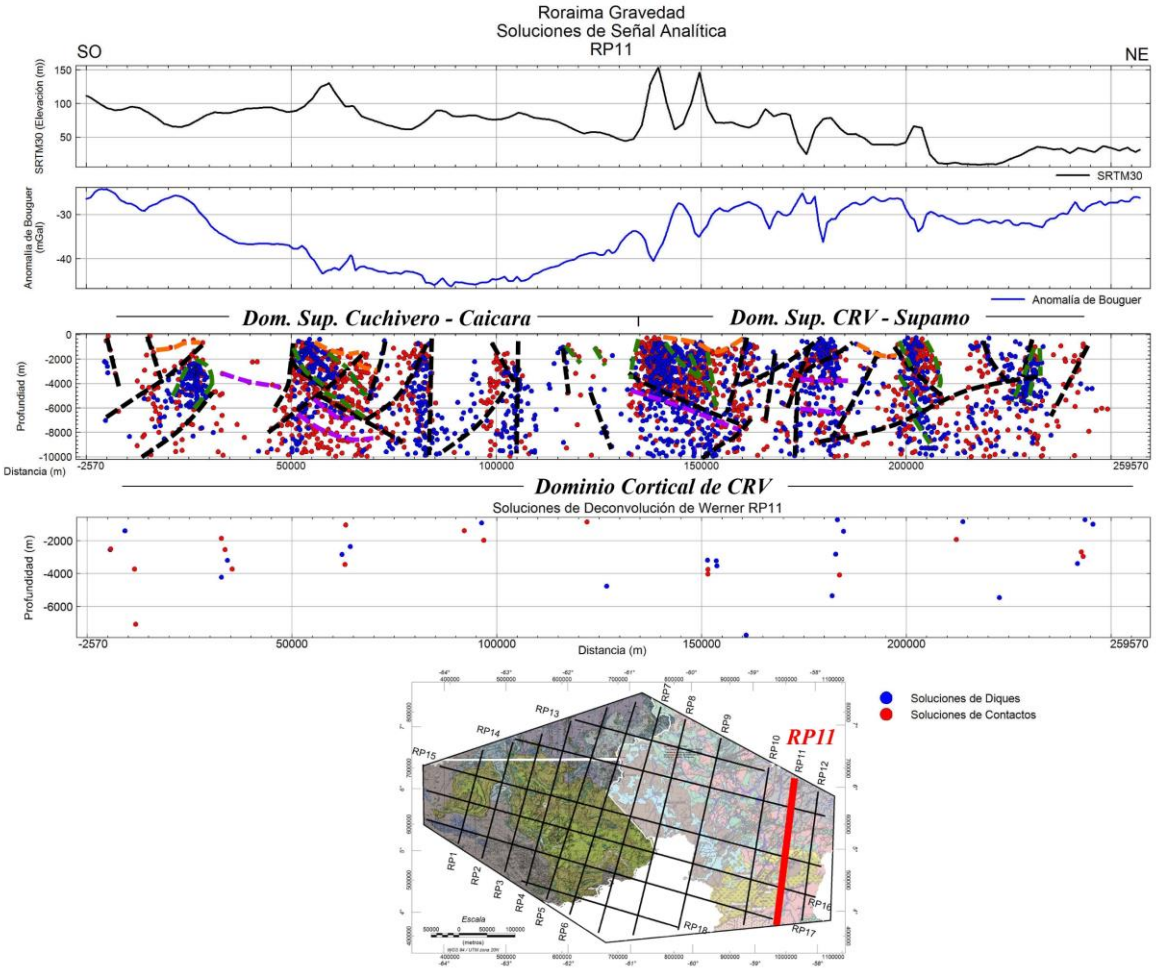


Figura 247. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP11 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

RP12 es el perfil más oriental de los trazados (Figura 248), y el mismo revela que, en general, cuando el dominio superficial es de una de las rocas intrusivas masivas como Cuchivero o Supamo, por debajo tienden a decrecer la cantidad de soluciones, mientras que cuando afloran Caicara u otras rocas volcánicas o los CRV, se permite la caracterización de los niveles inferiores. Esto no ocurre en todos los casos, pero si en muchos de ellos. El perfil hacia el SO muestra una caída del valor de anomalía respecto a las secciones centrales y norte de este, pero esta caída no es tan grande si se compara con perfiles anteriores, y es que esta zona particular, a pesar de tener la influencia de las rocas de Cuchivero que tienden a disminuir el valor de gravedad, el perfil en conjunto se aproxima a la corteza transicional y, por ende, interfases cortical relativamente más someras. Se infiere que la composición principal de la corteza, o al menos la roca caja, es CRV, hacia el sur se encuentra las bandas de los cinturones de alto grado, a las cuales este perfil no alcanza.

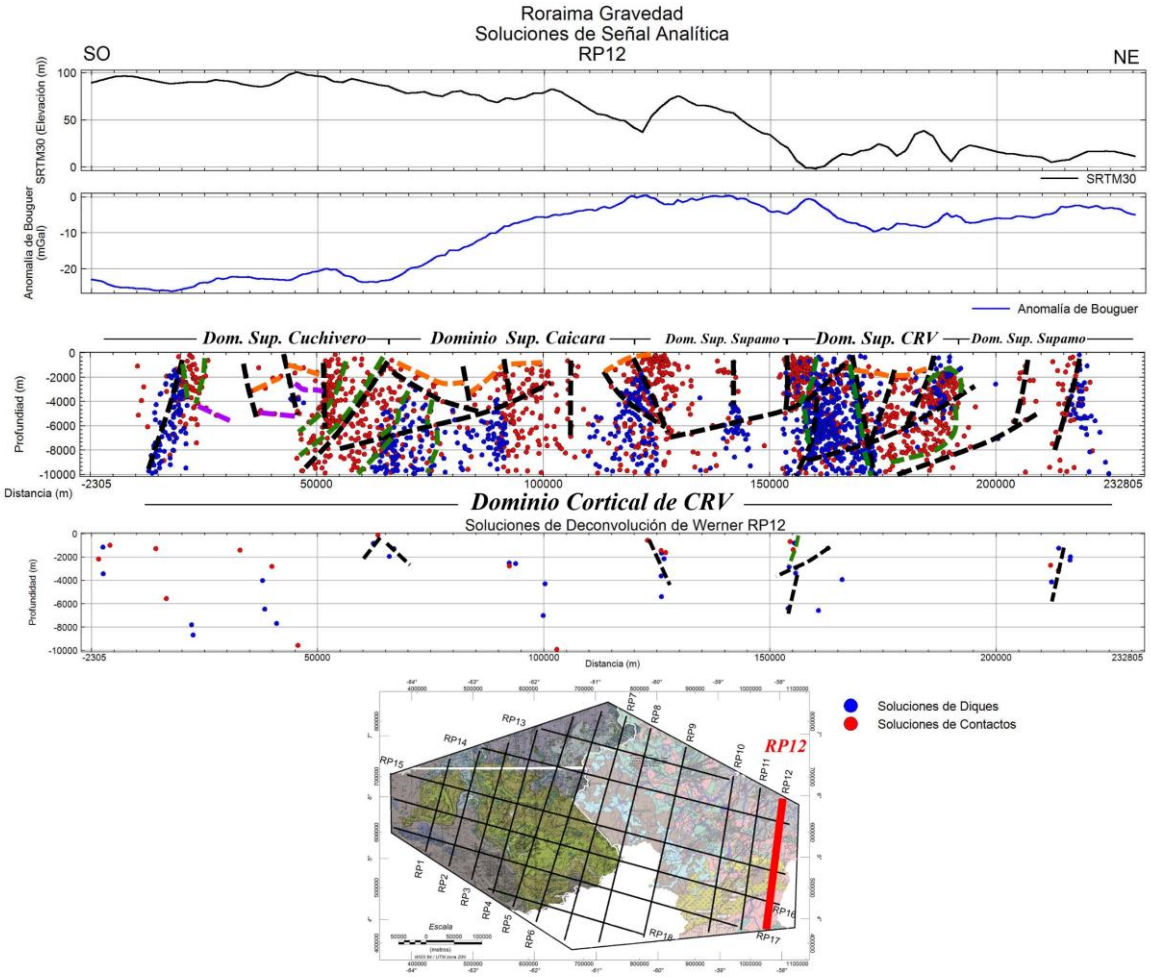


Figura 248. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP12 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

El siguiente perfil, RP13, es el primero de los orientados en dirección NO-SE, perpendiculares a los anteriores (Figura 249). El mismo se encuentra ubicado en el borde norte del área que ha sido delimita para la caracterización de la provincia de Roraima. De oeste a este, el perfil inicia con un mínimo relativo de gravedad, generado por un sistema de fallas que conforman una depresión, junto a intrusivos de Supamo que consiste en la principal causa de la caída del valor de anomalía. Posteriormente, se tiene una extensión considerable donde afloran rocas metavolcánicas. Por debajo de ellas, se infiere que la composición es una mezcla entre secciones de Supamo y CRV, ya que hay partes que tienen patrones de soluciones similares a los vistos para los CRV y también ausencia de las mismas como se observa para Supamo, con bordes de zonas de alteración producto de la intrusión. Alrededor de los 200.000 m del perfil, se presenta una zona de alteración importante producto de intrusivos posteriores, como la asociación Avanavero, en una roca caja compuesta de CRV. Mas al SE, la litología continua hacia el oriente de Guyana con rocas equivalentes a Supamo en matriz de CRV.

En general, en términos tectónicos, se presentan cortes muy horizontales de las fallas iniciales de rift junto a otras del mismo evento, pero con buzamiento contrario producto probablemente de la caída de bloques e inversión posterior del sistema. Todo ello atravesado por incontables fallas de rumbo que tienden a verse mucho más verticales. Es importante mencionar que las líneas de guiones verdes no siempre representan intrusivos, generalmente se utiliza este color en los perfiles para denotar cambios de composición que las soluciones arrojan en patrones verticales. Estas fronteras pueden coincidir en su mayoría con cambios de composición entre diferentes bloques, ya sea por alteración termal, alteración por tectonismo, y/o contactos ígneos. Las líneas naranja es generalmente la primera interfase aproximada horizontal que se distingue, y no corresponden con el mismo contraste de litologías a lo largo del perfil.

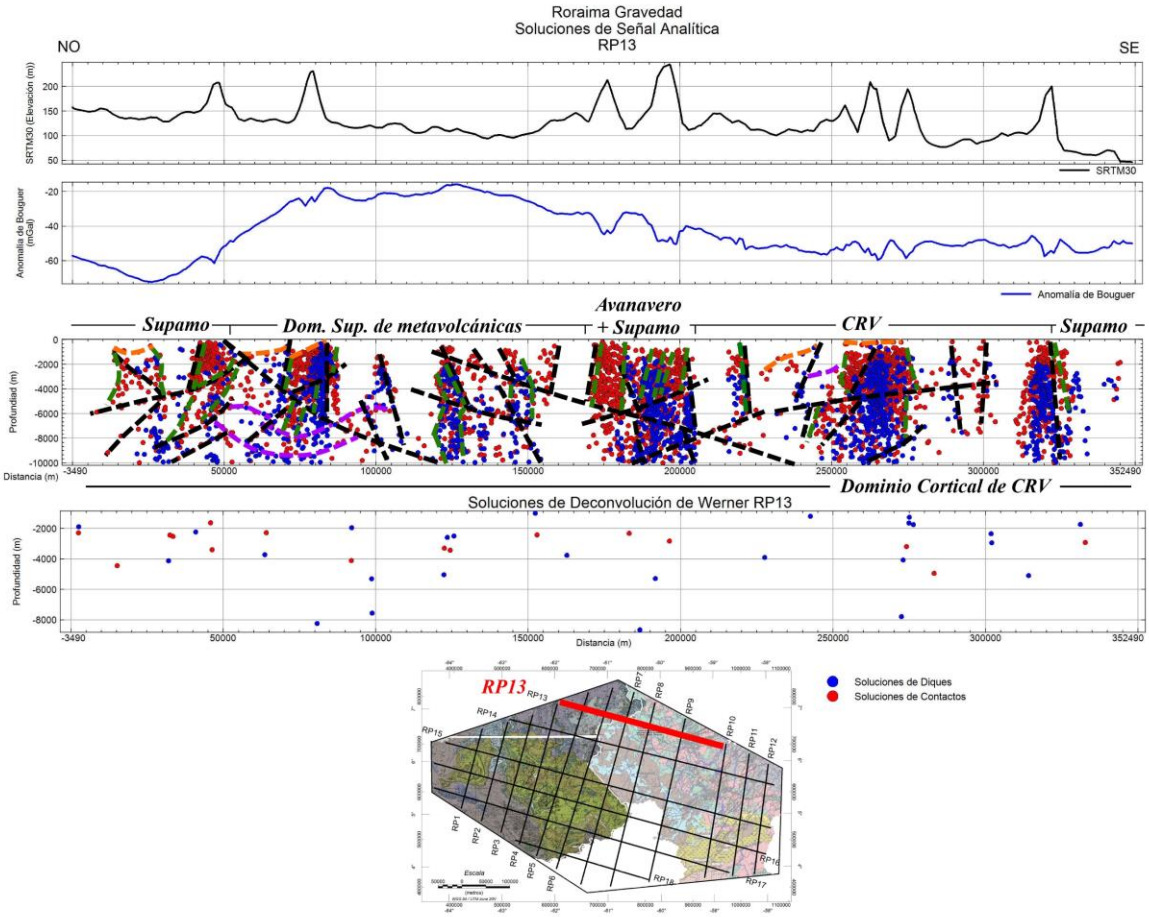


Figura 249. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP13 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

El siguiente perfil (RP14 - Figura 250) se encuentra un poco más al sur que el anterior, dispuesto de manera casi paralelas entre sí. En este caso, la curva de anomalía de gravedad marca en términos generales las pautas para la distinción de provincias, ya que la corteza intermedia, al estar compuesta en su mayoría por CRV, las soluciones a lo largo de todo el perfil abundan. Incluso, en muchos sectores, interfases semi-horizontales se logran observar de la formación inicial de CRV. Es notorio que todo ello se encuentra fuertemente plegado, y que, con el fallamiento sufrido, muchas de las mismas están metamorfizadas. Otros contrastes son observados también principalmente por intrusivos, muchos de ellos solo evidenciables a niveles someros, esencialmente aquellos que se relacionan con la asociación Avanavero. Las otras zonas de alteración se deben a intrusivos de mayor tamaño, probablemente relacionados a canales de ascenso de Supamo. Siguiendo con los

dominios, el perfil inicia entre 0 m y 200.000 m aproximadamente con Supamo dominando los afloramientos superficiales con anomalías oscilantes pero entre los -40 mGal y -60 mGal; más allá de los 200.000 m hasta aproximadamente 300.000 m el valor de anomalía cae a un promedio aproximado de -70 mGal que obedece al espesor sedimentario de Roraima, junto a engrosamiento regional de la corteza; y posterior a ello, se observa una curva de anomalía que va creciendo hacia el SE, a medida que se acerca a corteza transicional, donde la corteza es más delgada. El sistema estructural que domina esta última sección es normal, similar a la mitad de un sistema de rift. Hacia el centro del perfil, el sistema estructural se enmarca por el conjunto de fallas principales que, por la disposición del perfil respecto a estas fallas, se ven cortes más horizontales, del sistema de rift principal, conjugados con fallas de rumbo, normales e inversas.

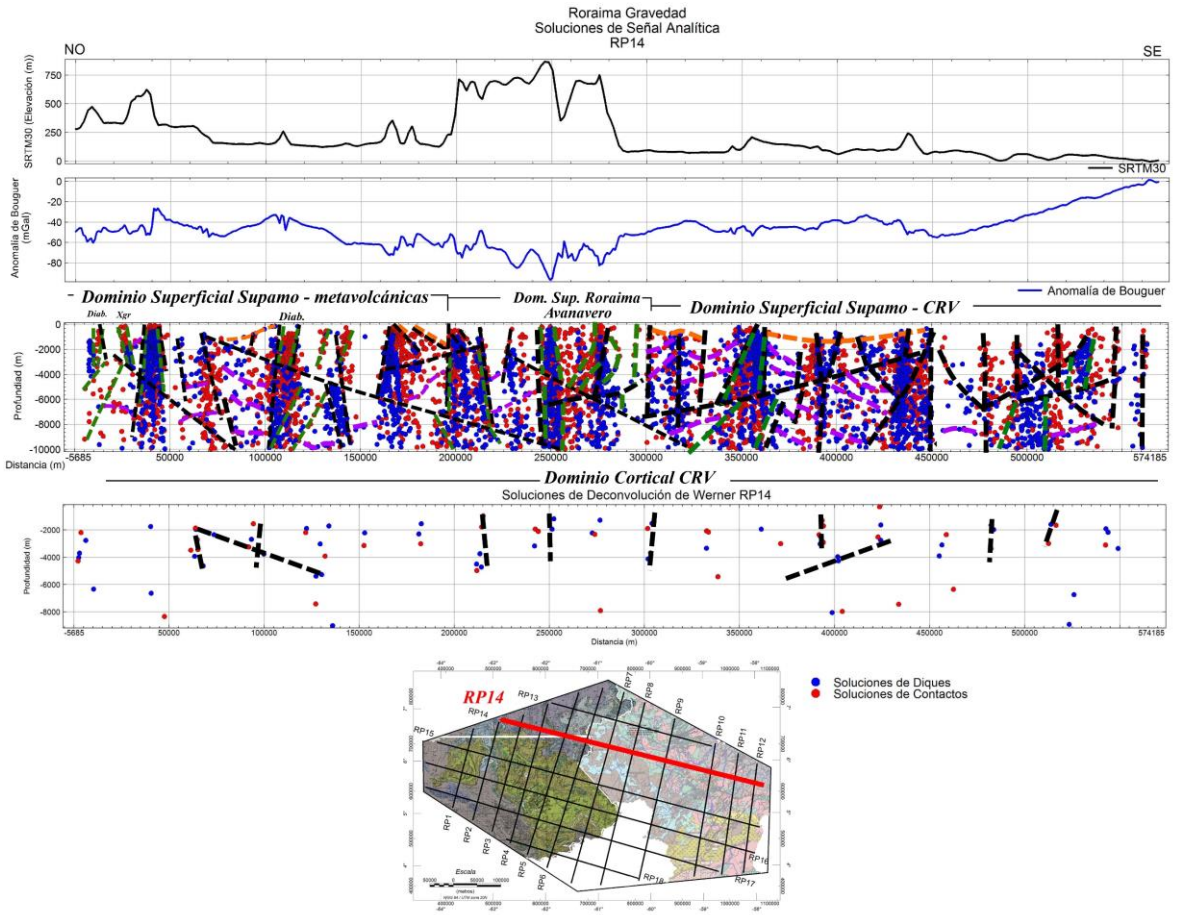


Figura 250. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP14 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

El perfil RP15 (Figura 251) es el más extenso del conjunto de perfiles trazados para esta provincia. En él abundan las fallas rumbo deslizantes, pero al igual que en los anteriores, los sistemas dominantes primarios son cortes de las proyecciones de planos de falla correspondientes al sistema de rift inicial y a la posterior inversión del sistema. Desde los 50.000 m hasta los 550.000 m en lo superficial afloran rocas del Supergrupo Roraima, con algunas intercalaciones de diabasas de la asociación Avanavero. Este perfil atraviesa uno de los cuerpos intrusivos de gran tamaño inferidos en los mapas durante la interpretación, que se encuentra ubicado entre los 150.000 m y 200.000 m del perfil. El mismo no parece ser un cuerpo continuo y masivo, sino estar compuesto al menos de dos patrones intrusivos, que podrían o no ser iguales, marcados por la caída del valor de anomalía de gravedad en una curva que contiene otras anomalías de menor longitud de onda, que indican que el cuerpo es discontinuo. Hacia el extremo SE del perfil, un pequeño bloque de cinturón de alto grado del grupo Kanukú se encuentra colapsado o sobrecorrido, ya que no se puede inferir fehacientemente si el sistema se encuentra normal o invertido por colisión. Este bloque se encuentra marcado con línea de guiones verde en un tono claro que resalta en la imagen.

Los sistemas que controlan los cambios de provincias son principalmente transcurrentes, hacia el sur, CRV intrusionados por el Grupo Cuchivero, y hacia el extremo norte, el intrusivo cambia a Supamo. Existen zonas particulares dentro del dominio superficial de Roraima donde también intrusiona Supamo, pero es mucho más difícil establecer los límites. Considerando la tendencia usual de Supamo a disminuir la cantidad de soluciones, es probable que aquellas zonas de dominio superficial Roraima donde por debajo haya una abrumadora ausencia de soluciones de deconvolución, sea porque existen cuerpos masivos intrusivos como Supamo, sobre todo entre 300.000 m y 450.000 m del perfil. Las zonas con mayores alteraciones suelen estar asociadas a otros intrusivos como Cuchivero y la alteración generada por las volcánicas de Caicara cerca de superficie. El carácter de la asociación Avanavero en este perfil suele presentarse como patrones de soluciones muy alineados, pero de baja densidad de soluciones de deconvolución, pero en patrones de enjambre, es decir, varias alineaciones de puntos y que suelen cortar gran parte de la corteza por arriba de los 6 km de profundidad.

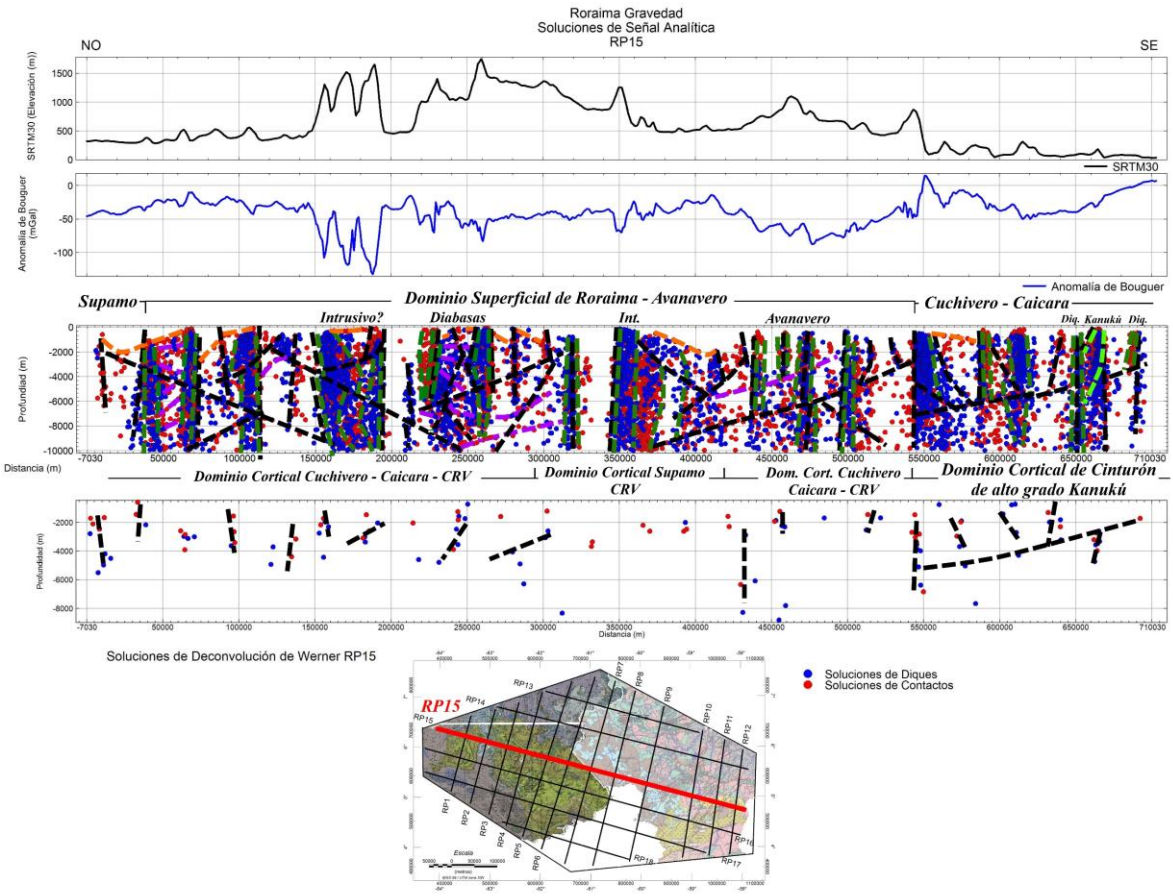


Figura 251. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP15 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

El perfil RP16 (Figura 252) es bastante heterogéneo, ya que numerosas intrusiones y cambios de composición y alteración ocurren por debajo de Roraima. Inicialmente, hacia el noroeste del mismo, se observa un alto estructural con composición superficial de rocas pertenecientes a Cuchivero y Caicara, siendo esta última la que aflora. Poco después, a partir de 30.000 m aproximadamente inicia un sistema de graben, que, visto de perfil, parece no muy desarrollado, lo suficiente para permitir la extrusión de Caicara en este sector, al igual que ocurre con Supamo, con ausencia de soluciones de contraste en el eje principal. Hacia los flancos de este graben, se encuentran dos de los grandes intrusivos inferidos en los mapas, marcados con cúmulos representativos de soluciones. Ambos ocasionan la caída del valor de gravedad hacia estos flancos, aun cuando estos son altos estructurales relativos donde debería expresarse un mayor valor de anomalía. Estos cuerpos

se caracterizan por anomalías de longitud de onda más corta respecto a las anomalías observadas en la sección del eje central donde aflora Caicara.

Hacia el centro del perfil, entre 300.000 m y 400.000 m aproximadamente, es donde se logra visualizar la interfase probablemente entre pre-Roraima y Caicara y/o Cuchivero a mayor profundidad, sugiriendo un mayor espesor sedimentario. No obstante, no necesariamente es la zona de mayor subsidencia, ya que, hacia las montañas, la solución de la primera interfase queda envuelta por la cantidad abrumadora de soluciones generadas por los posibles intrusivos y zonas de alteración o metamorfismo. En general, estos sedimentos no llegan más allá de 1 km de profundidad, aunque justo en medio, la profundidad podría alcanzar unos 1,5 km.

Hacia el SE, en territorio guyanés, se observa al igual que el perfil anterior, otro pequeño bloque de Kanukú cabalgado. Al observar los patrones estructurales hacia Guyana, se nota que acá el tipo de colisión y la interacción entre las provincias tuvo que ser diferente a como ocurrió en el Edo. Amazonas, ya que las estructuras tienden a generalizar en un sistema donde los CRV parecen colocarse encima del grupo Kanukú; no obstante, esto no implica necesariamente que el borde se ubique más al sur, y que lo que se observa sea el sistema estructural que esta masa continental tenía por detrás del frente de subducción y posterior colisión. Si se compara con los mapas interpretados y los sistemas de falla, en estas zonas, prevalecen las estructuras iniciales de rift y las fallas transcurrentes que acomodaron los bloques luego de la colisión, o incluso durante la deriva de esta masa continental previa a encontrar algo con que interactuar, como ocurrió con la falla de Guri. Son simplemente producto del movimiento que tenía la masa, y a medida que se movía quizás diferencialmente a lo largo de su envergadura, se generaron algunas de estas fallas. Las fallas que obedecen al corrimiento de los cinturones de alto grado sobre Cuchivero se encuentran un poco más al oeste. Se recuerda a su vez, que la disposición de estos perfiles de control no es favorable a la orientación de las estructuras de subducción, quizás siendo uno de los planos de falla de bajo buzamiento la proyección del sistema de corrimiento. Además, los afloramientos no indican aparentemente que esta sea la opción correcta, a pesar de tener pequeños bloques de Kanukú cabalgados y aflorando.

Otra característica importante para resaltar es que, en general, las soluciones de la deconvolución de Werner suelen en muchos casos no sobrepasar los 4 km de profundidad, y también, generalmente se encuentran por debajo de los 2 km. Esto es consonante con los resultados del análisis de composición espectral de gravedad, que indica una interfase promedio generalizada de unos 3,8 km y los datos magnéticos, por otra parte, infiere una ubicada alrededor de los 2,5 km. Es decir, en estos niveles de profundidad es donde en promedio se ubican los cambios de densidad principales, probablemente entre rocas ígneas (como Cuchivero y Supamo) y rocas metamórficas (como los CRV), y también entre rocas intrusivas y volcánicas (como Caicara).

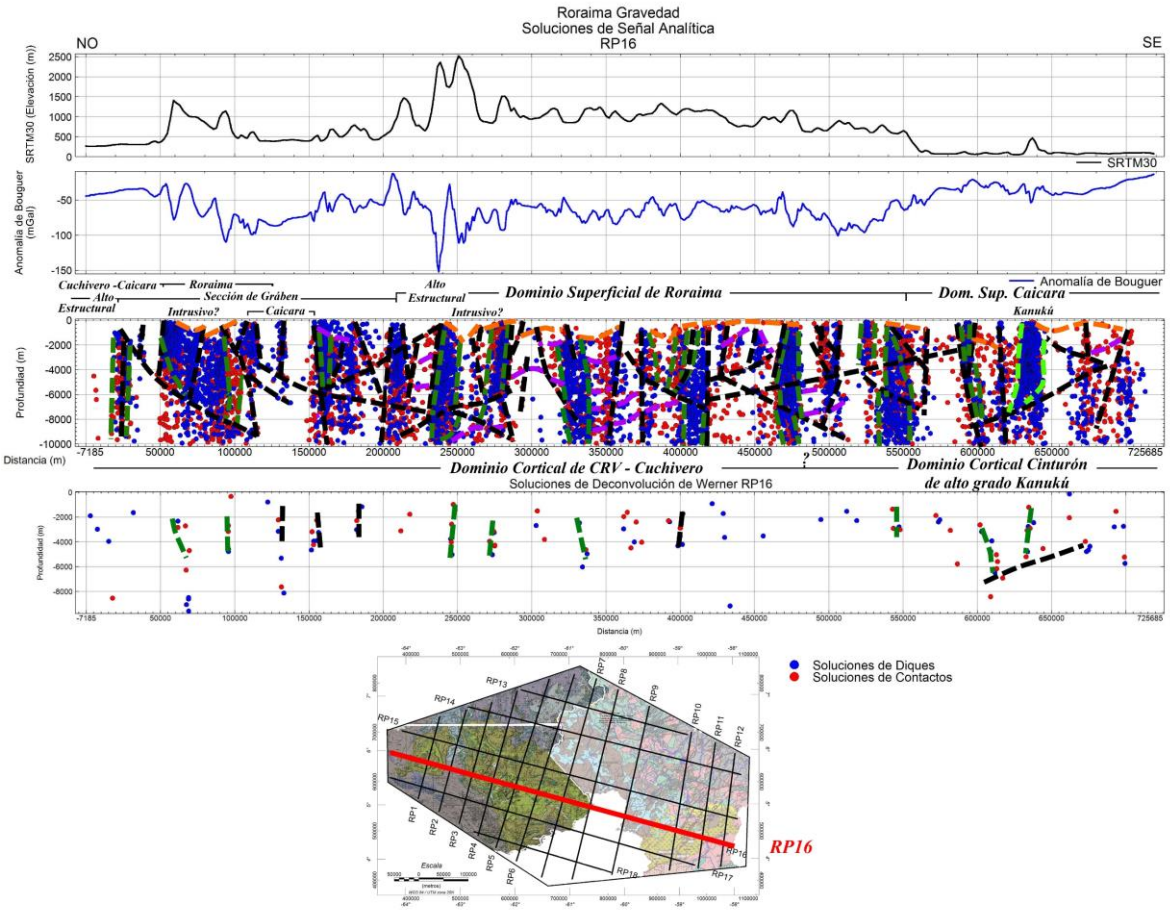


Figura 252. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP16 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

En el perfil RP17 (Figura 253) se puede observar la continuación de los sistemas estructurales ya observados. Acá, la sección del graben contiene varias zonas de alteración, y las fallas son en su mayoría de alto buzamiento, exceptuando a aquellas que delimitan el sistema en profundidad. La curva de anomalía de Bouguer separa a grandes rasgos los dominios superficiales interpretados en las soluciones, donde hacia el noroeste se observa un aumento considerable del valor de anomalía producto de la somerización de las rocas de CRV, es decir, es uno de los altos estructurales ya estudiados en el capítulo correspondiente a Cuchivero. Posteriormente, se observa la sección del graben que contiene en superficie una sección donde afloran rocas de Caicara y otra de menor extensión donde afloran rocas de Roraima, donde afloran rocas de Caicara el valor de anomalía de Bouguer decrece, indicando quizás una mayor profundidad de las rocas de CRV producto del fallamiento normal. Luego alrededor de los 200.000 m se ubica el límite occidental de Roraima en el perfil, donde la anomalía presenta un incremento de la gravedad en la zona de contraste, para luego descender a medida que el espesor de Roraima aumenta. Por debajo de Roraima, entre los 200.000 m y 400.000 m del perfil, numerosos contrastes de densidad sub-verticales se encuentran, los más pequeños probablemente relacionados con la asociación Avanavero, pero otros de mayor envergadura pueden relacionarse con zonas de alteración generadas por intrusivos de Cuchivero u otros posteriores.

En los 400.000 m del perfil, se observa una abrumadora cantidad de soluciones que delimitan el afloramiento de Roraima en superficie, pero un poco más en profundidad, infieren algún sistema de contraste combinado entre fallamiento e intrusivo, probablemente de Cuchivero. El espesor de las rocas volcánicas en general, a partir de esta locación, no parece ser muy alto, ya que la variabilidad expresada en los contrastes internos a los CRV no permitiría interpretar que Caicara sobrepase los 2 km de profundidad en el tramo donde las soluciones de tales alteraciones no aparecen. Esta sección oriental del perfil contiene anomalías de menor longitud de onda, indicando mayor variabilidad en superficie, y que, por ende, inferirían que los CRV se encuentran muy cerca de la superficie, al considerar también que la curva de anomalía aumenta desde los -75 mGal promediados observados en el dominio Roraima a magnitudes mayores que -50 mGal. Esto se atribuye principalmente a un cambio en el espesor cortical y también a un cambio en la profundidad de las rocas CRV, en este caso necesariamente ubicadas más cerca de la superficie que lo observado en

Roraima o en el tramo occidental donde dominan Cuchivero y Caicara. Es importante también acotar que la sección oriental se encuentra más próxima al sistema de corrimiento de los cinturones de alto grado que, por consiguiente, estarían generando deformaciones internas que se expresan en plegamientos y corrimientos que ocasionan la relativa exhumación de los CRV.

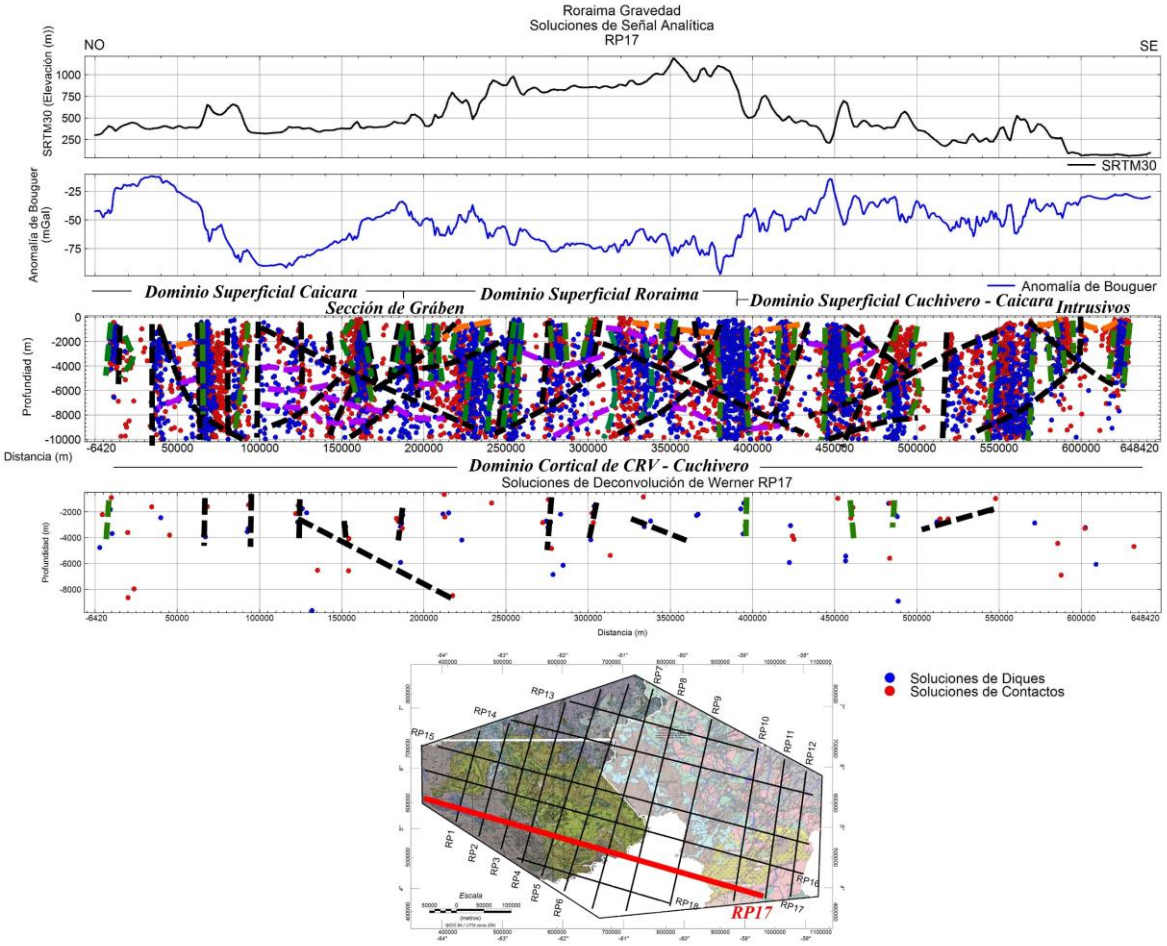


Figura 253. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP17 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

RP18 (Figura 254) es el último de los perfiles trazados para el estudio del escudo de Guayana y de la provincia de Roraima en particular. Se encuentra mayoritariamente en territorio de Brasil, pero el mismo, al tener una longitud menor, se puede apreciar de mejor manera el cambio de aspecto de las estructuras que han sido interpretadas al ser menor la escala horizontal. En el mismo, se puede acotar algunos cuerpos intrusivos de diabasa de la

asociación Avanavero y otras zonas de alteración relacionadas principalmente a Cuchivero, todo embebido en una roca caja que se presume es CRV. Los sistemas estructurales hacia el SE cambian un poco respecto a lo visto en los perfiles anteriores, ya que la zona se encuentra muy próxima a la zona de colisión con los cinturones de alto grado. Es por ello que los sistemas dominantes sugieren ser inversos. Hacia el NO, se observa el acortamiento del sistema de graben que viene desde el norte, pero que acá por la compresión, el sistema se achica.

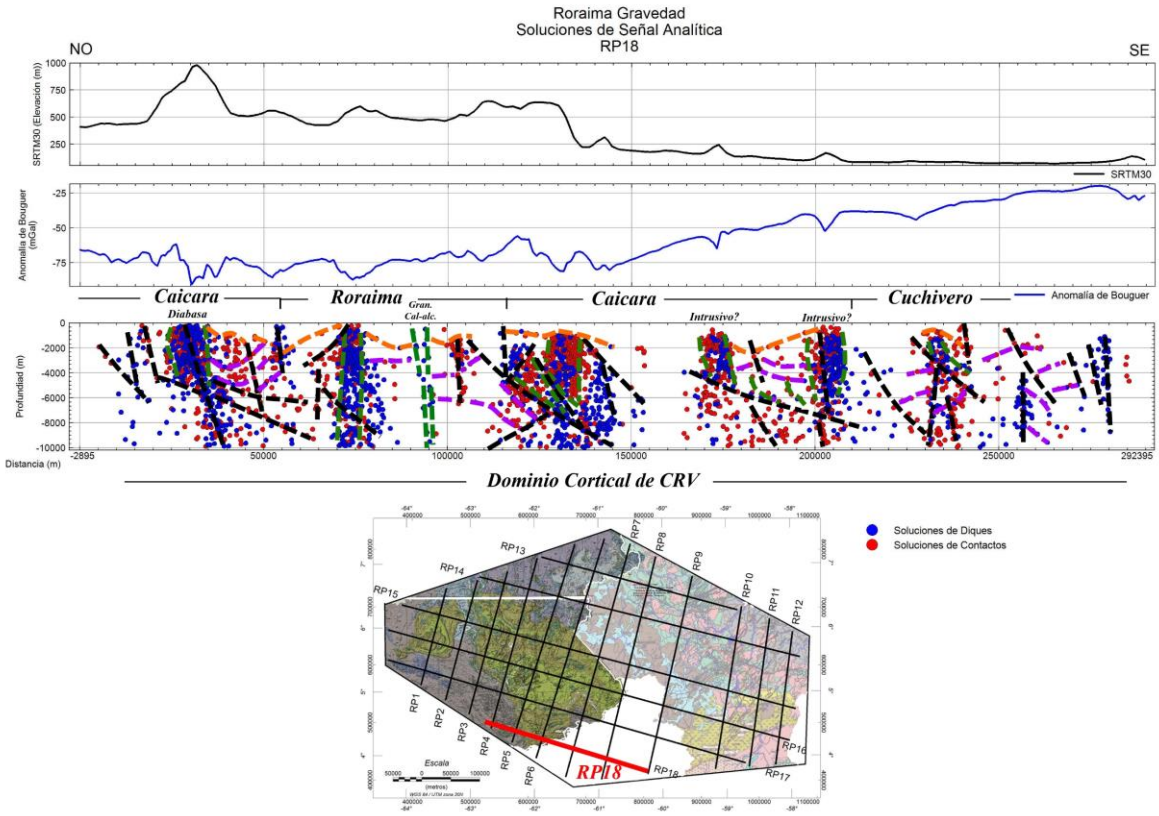


Figura 254. Soluciones de señal analítica y deconvolución de Werner en RP18 de datos de gravedad. Líneas de guiones negros = sistemas estructurales; líneas de guiones verdes = cambios de composición; guiones naranja = cambios sub-horizontales.

Las interfases semi-horizontales en color naranja podrían coincidir con los contrastes que presentan las rocas volcánicas y sedimentarias con los CRV. Esta sección, además, sobre todo por debajo de Roraima, se encuentra dominada de niveles corticales superficiales a intermedios por intrusivos de Cuchivero. Esto concuerda con la prolongación de las bandas tectónicas interpretadas en el capítulo de Amazonas. No obstante, la secuencia de altos y

bajos observados en el capítulo de Cuchivero acá no ha podido ser caracterizada ya que los perfiles no llegan hasta tales longitudes.

MODELO EVOLUTIVO

La evolución geológica/tectónica de la región en estudio se interpreta de la siguiente manera a partir de los resultados obtenidos:

1era Etapa: formación de Imataca

Como se muestra en la Figura 23, la evolución de Imataca consiste en el acoplamiento de bloques o micro continentes por medio de subducción y posterior colisión durante las orogénesis Guriense y Aroensis (Ascanio, 1975; Mendoza *et al*. 2019). Los resultados obtenidos mediante la interpretación de los datos potenciales soportan esta idea de fajas tectónicas amalgamadas con diferentes grados de metamorfismo y sistemas estructurales, con una corteza inferior relativamente homogeneizada debido al metamorfismo con muy altos gradientes termales.

2da etapa: formación de Pastora

La Figura 40 reseña el sistema geodinámico bajo el cual se forman los cinturones de rocas verdes como parte de la sección oceánica del margen extensivo, a partir del aporte magmático de plumas mantelares. No obstante, el sistema geodinámico se invirtió durante la orogénesis Transamazónica (Hurley *et al*., 1967; Vanderhaeghe *et al*., 1998; Voicu *et al*., 2001; Delor *et al*., 2003a; Cordani & Texeira, 2007; entre otros), y el material magmático para la formación de Supamo provino del rápido reciclaje de corteza cuando el margen de subducción se encontraba a lo largo de la posterior sutura de Guri.

Es probable que alguno de los corrimientos de largo alcance notados durante la interpretación de los perfiles de señal analítica hacia el Edo. Amazonas concuerde con lo que se denota como sutura de Tukutu a lo largo de esta falla homónima.

El aporte principal de esta investigación hacia el modelo evolutivo de Pastora es que se pudo comprobar a partir de patrones estructurales que, en efecto, existen dos tipos de CRV en diferentes niveles de profundidad y locación. Menéndez (1994) diferenció que la Gran Provincia Ígnea del CRV Pastora-Barama-Mazaruni estaba compuesta por CRV de la etapa

de arco oceánico y otros como Pastora-Botanamo de la etapa de arco de islas. A través de esta investigación, se interpretó que existen CRV ubicados a mayor profundidad (primigenios) con sistemas estructurales extensos orientados aproximadamente E-O, mientras que, a niveles corticales más someros, se encuentran otros CRV con sistemas estructurales variados, pero que en general, tienden a una orientación NO-SE, lo cual marca el patrón estructural que domina la posterior formación de los rifts intra-continentales de la siguiente etapa. Los patrones estructurales de los CRV más someros pudieron ser el resultado de posteriores etapas de tectonismo que la región sufrió, no necesariamente son estructuras pertenecientes a su etapa de formación inicial.

3ra etapa: migración de la subducción, formación de Cuchivero/Caicara

Al migrar el margen de subducción de la sutura de Guri, el sistema continuó su movimiento hacia el oeste, y la zona de sutura de Guri pudo haber continuado como una falla de cinemática transcurrente; a través de este estudio, no se determina si esta cinemática ocurrió antes o después del acoplamiento de todas las provincias. A medida que el conjunto se desplazaba, se formaron sistemas de rift intra-continentales, arcos y cuencas. Estas estructuras que han sido observadas en las interpretaciones, especialmente en los capítulos referentes a Pastora y Cuchivero, no presentan disposición similar a Guri. De hecho, son prácticamente perpendiculares entre sí, similares a la orientación de las fallas de Cabruta y Suapure. Es por ello que se atribuye cierta rotación al sistema, probablemente por el doblamiento del cinturón durante su recorrido, similar a una bisagra donde la sección oriental de Imataca se desprende. Mientras la subducción rápidamente va migrando, intrusivos se generan en la parte continental del conjunto Imataca-Pastora, con cristalización diferencial, que permite una sección plutónica (Cuchivero) y otra volcánica (Caicara), estando esta última ubicada principalmente hacia los flancos de los sistemas de rift.

Esta hipótesis para Cuchivero se encuentra acorde con lo propuesto por Sidder & Mendoza (1995) que sugiere que los sistemas magmáticos que formaron Cuchivero y Caicara son posteriores a la orogénesis Transamazónica. Además, Mendoza *et al.* (2019) sugiere que en el límite occidental del continente Atlántica (que incluye Imataca y Pastora) se formaron nuevos arcos continentales, y que la colisión entre Cuchivero y Atlántica ocurre hacia 1,8 -

1,7 Ga. Esto es parcialmente concordante con el modelo propuesto. En efecto, esta investigación propone la formación de nuevos arcos y rift intra-continentales hacia el margen occidental donde, en algún momento posterior, la colisión suturó las provincias. La diferencia radica en que, debido a los sistemas estructurales observados infrayacentes a Cuchivero y Roraima, se propone que el mecanismo de formación de estas estructuras fue un margen de subducción migrante hacia el oeste actual, y que tal colisión ocurrió cuando el material subductante proveniente de los cinturones Kanuku-Uraricoera se agotó, dejando una losa abortada hacia la parte continental Imataca-Pastora y la inversión de la vergencia de subducción hacia Amazonas.

4ta etapa: inversión de la subducción, losa abortada.

La inversión de la subducción es el evento que permitió la formación del conjunto de intrusivos que se observan hacia Amazonas a partir de las interpretaciones realizadas en esta investigación. En primera instancia, la remanente losa abortada por debajo de Pastora-Cuchivero siguió aportando material para que asociaciones como Avanavero intrusionaran posteriormente.

Hacia Amazonas, los plutones de Mitú, San Carlos y Rio Negro se formaron. Se crearon sistemas de corrimiento y de transcurrencia en los cinturones de alto grado como Kanukú, Uraricoera y Urubu, que permitía el reacomodo de los bloques a medida que iniciaba la colisión. Esta sección constituye la contraparte continental del sistema Imataca-Pastora-Cuchivero, contra el cual ocurre la posterior colisión.

5ta etapa: colisión

Al colisionar todo el sistema, se aborta nuevamente la subducción, y se recicla el material formando principalmente hacia el flanco occidental, los granitos de Parguaza y otros intrusivos equivalentes en tiempo o composición, junto al aporte de posibles plumas mantelares. En Mendoza *et al.* (2019), se menciona que los granitos rapakivis de Parguaza intruyeron debido al abombamiento de una super-pluma mantelar que disrumpió la corteza y permitió el ascenso del magma. Sin embargo, también se menciona la hipótesis de Yang *et al*. (2016), donde una pluma mantelar irrumpe en la losa de subducción, generando un magma híbrido. Acorde al modelo propuesto en esta investigación, se considera que el

modelo de Yang *et al.* (2016) parece ser más probable. Sin embargo, la diferencia radica en que este proceso ocurrió con la losa de subducción con vergencia hacia el Edo. Amazonas, de acuerdo con las interpretaciones realizadas.

Posteriormente el sistema se cierra, e inicia un proceso de orogénesis y posterior rebote isostático que acelera los procesos de erosión, y que exhuma los intrusivos ahora expuestos.

Las etapas 3, 4 y 5 se representan en la Figura 255.

Como se observa a lo largo de este estudio, la presencia de plumas mantelares fue el mecanismo principal de disrupción y deriva continental durante el Arqueano y parte del Proterozoico, dados los altos gradientes geotérmicos en el manto por la radioactividad presente. Sin embargo, no se le atribuyen a las mismas como el principal aporte de los sistemas intrusivos en el resto del área. Las mismas constituyeron el mecanismo formador de la corteza oceánica que formó la Provincia de Pastora, pero posteriormente, el reciclaje de corteza a diferentes grados de intrusión y cristalización parecen ser los mecanismos bajos los cuales se formaron los grandes plutones, considerando que la geodinámica del sistema debió ser relativamente rápida, con márgenes de subducción de bajo ángulo y cortezas delgadas. También se ubicaron algunas locaciones donde se evidencian primitivas zonas de calor y ascensión de material, principalmente en Supamo y Parguaza. Estas zonas fueron discutidas en los respectivos capítulos, y es probable que los mismos hayan fungido una influencia similar a lo que serían puntos calientes.

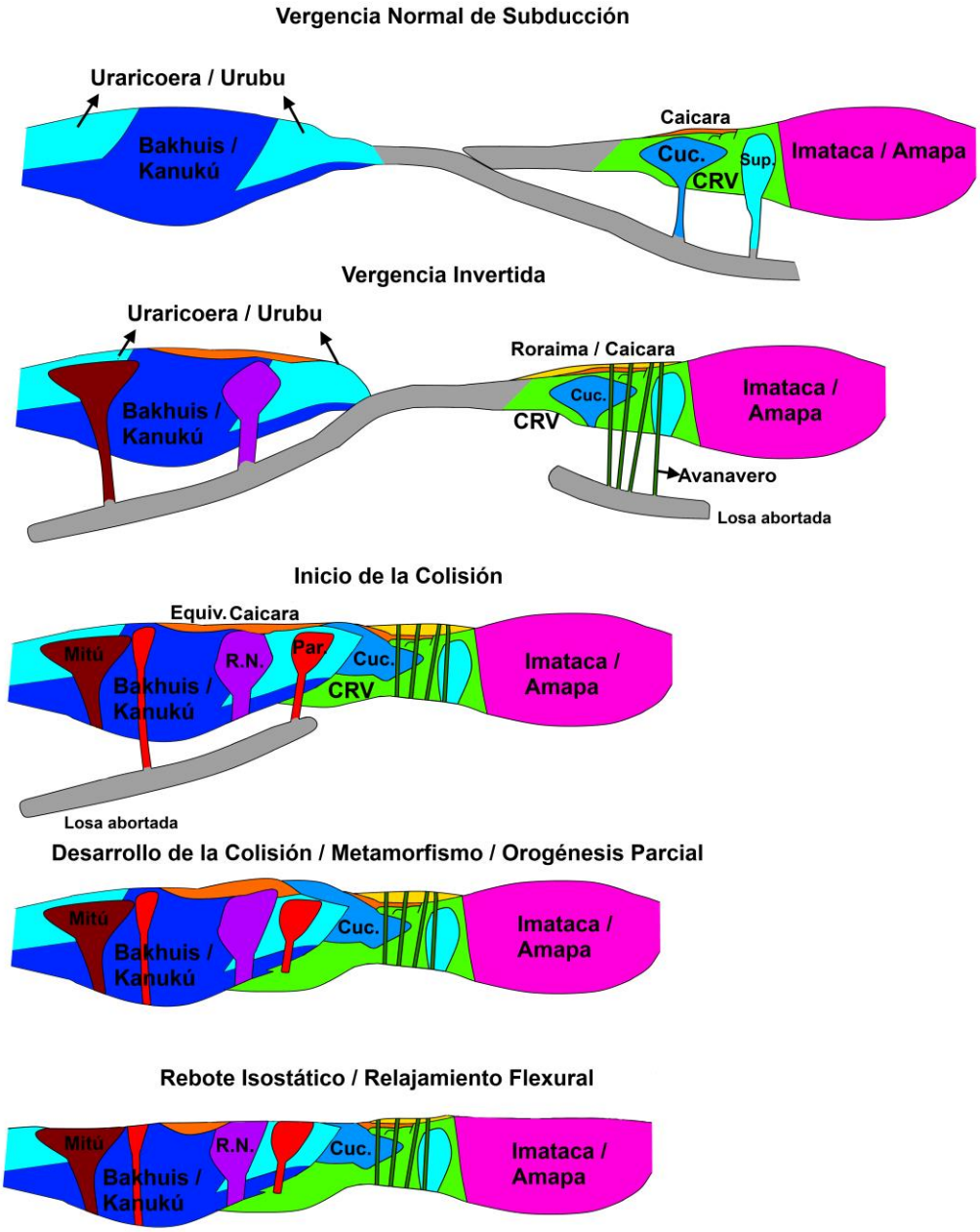


Figura 255. Evolución geodinámica del margen Kanukú-Uraricoera-Mitú frente a Imataca-Pastora-Cuchivero. Cuc. = Cuchivero; R.N. = Río Negro; Par. = Parguaza. Aproximación esquemática de la evolución geológica del sistema a partir de los resultados obtenidos. La misma no fue elaborada a escala o mediante métodos de balanceo de secciones.

© Fabian Jesús Linares Morón, 2021

Hecho el depósito de Ley

Depósito Legal DC2021001550